

照査外水位は明記されていないが、平成 23 年度木曾三川下流部広域防災ネットワーク検討会の資料によれば、平常時の最高水位は、朔望平均満潮位 T.P.+1.2m に、波浪等による水位影響 2.0m を加えて T.P.+3.2m としており、照査外水位として踏襲していると思われる。

津波水位についても明記されていないが、中央防災会議「防災対策推進検討会議」南海トラフ巨大地震対策検討ワーキング（H23 内閣府）において検討された 11 ケースの津波断層モデルのうち、伊勢湾沿岸平野部に最も影響を与えると考えられる波源モデルは、ケース①『駿河湾～紀伊半島沖に大すべり域+超大すべり域』である。

ケース①の場合、木曾三川河口部で 60cm 弱の津波高とされている。したがって朔望平均満潮位 T.P.+1.2m に 60cm を加えた T.P.+1.8m が津波高となる。

また、その想定地震発生直後の地盤沈下量は、木曾三川河口部で 60cm 弱と推定されており、両者を勘案すれば T.P.+2.3m の津波高を照査外水位と考えることが出来る。

いずれにしても地震後の洪水等による水位である「平常時の最高水位」のほうが、津波水位よりも高いことから、T.P.+3.2m を照査外水位と考えることが出来る。

(5) 河川構造物（水門・樋門）の耐震点検の実施状況

国土交通省 木曾川下流河川事務所管内の河川構造物の状況は、木曾三川下流部広域防災ネットワーク検討会の資料によれば、水門・樋管樋門 28 箇所中 18 箇所について耐震点検を実施している。主にレベル 2 地震動による検討で、門柱、堰柱のせん断強度が不足しているものが多いとされている。

表 3.2.6 水門・樋管樋門 28 箇所中 18 箇所について耐震点検結果<sup>19)</sup>

番号	施設名	河川名	位置(距離標、左右岸)	所在地	完成年度	照査状況	部位等	点検結果						
								レベル1地震動(※1)	レベル2地震動(※2)					
									プレート境界型		内陸直下型			
水流(縦断)方向		水流(縦断)方向		水流(横断)方向										
1	鍋田上水門	木曾川	7.8k+86 左岸	三重県木曾町	S36	済み	函体:NG 操作台:NG 門柱:NG	左記に加え、基礎:NG						
2	船頭平開門	木曾川	12.4k-13 右岸	愛知県愛西市	M35	未照査								
3	長島排水樋管	長良川	4.8k-51 左岸	三重県桑名市	S59	済み	OK	OK	門柱:せん断NG	OK	OK	門柱:せん断NG		
4	城南排水樋管	揖斐川	-0.2k-34 右岸	三重県桑名市	S53	改築中								
5	三之丸水門	揖斐川	4.2k+70 右岸	三重県桑名市	H18	済み	門柱レス	OK	OK	OK	OK	OK	堰柱:せん断NG	
6	川口水門	揖斐川	4.4k+19 右岸	三重県桑名市	H14	済み	門柱レス	OK	OK	OK	OK	OK	堰柱:せん断NG	
7	住吉水門	揖斐川	4.6k+20 右岸	三重県桑名市	H14	済み	門柱レス	OK	OK	OK	OK	OK	堰柱:せん断NG	
8	大山田水門	揖斐川	6.0k-39 右岸	三重県桑名市	S58	済み		OK	OK	OK	OK	OK	門柱:曲げNG ゲート:残留変位NG	
9	沢北ひ管	揖斐川	6.0k-8 右岸	三重県桑名市	S58	済み		OK	門柱:せん断NG	門柱:せん断NG	門柱:せん断NG	門柱:せん断NG	門柱:せん断NG	
10	沢北排水樋管	揖斐川	7.6k+26 右岸	三重県桑名市	S54	済み		OK	OK	OK	OK	OK	門柱:せん断NG	
11	深谷水門	揖斐川	8.4k+93 右岸	三重県桑名市	H20	済み		OK	OK	門柱:せん断NG	OK	OK	門柱:せん断NG	
12	御砂ひ管	揖斐川	9.4k-58 右岸	三重県桑名市	S39	照査中								
13	前川ひ管	揖斐川	10.4k+73 右岸	三重県桑名市	H20	照査中								
14	大江樋門	揖斐川	14.6k+60 左岸	岐阜県海津市	H10	済み		OK	OK	門柱:せん断NG	OK	OK	門柱:せん断NG	
15	大江排水樋管	揖斐川	14.6k+60 左岸	岐阜県海津市	H9	済み		OK	OK	OK	OK	OK	門柱:せん断NG	
16	高瀬橋中排水樋管	揖斐川	15.2k+68 左岸	岐阜県海津市	S50	済み		OK	函渠:せん断NG	門柱:せん断NG 継手開口量NG	函渠:せん断NG	函渠:せん断NG	継手開口量NG	
17	勢溜排水ひ門	揖斐川	16.2k+336 右岸	岐阜県海津市	H2	照査中								
18	南勢排水樋管	揖斐川	18.4k+11 右岸	岐阜県海津市	S55	済み		NG	函渠:せん断NG	OK	函渠:せん断NG	OK	OK	
19	小屋川ひ管	揖斐川	18.3k+138 右岸	岐阜県海津市	S35	未照査								
20	山崎南谷ひ管	揖斐川	20.0k+88 右岸	岐阜県海津市	S51	未照査								
21	河原崎排水ひ管	揖斐川	21.4k-29 右岸	岐阜県海津市	S47	未照査								
22	上野向戸排水ひ管	揖斐川	22.0k-73 右岸	岐阜県海津市	S45	未照査								
23	間谷第二排水ひ管	揖斐川	22.4k+197 右岸	岐阜県海津市	H2	未照査								
24	間谷第一排水ひ管	揖斐川	22.8k+145 右岸	岐阜県海津市	H2	未照査								
25	津屋川水門	揖斐川	23.0k+19 右岸	岐阜県海津市	H2	済み	端門柱:堰柱 中間門柱:堰柱	OK	OK	門柱:曲げNG	門柱:曲げNG	門柱:曲げNG	門柱:曲げNG	門柱:せん断NG
26	津屋川排水樋管	揖斐川	23.8k-8 右岸	岐阜県海津市	H3	未照査								
27	赤沢ひ管	多度川	1.0k-2.3m 右岸	三重県桑名市	H4	未照査								
28	香取北ひ管	多度川	1.4k+90.0m 右岸	三重県桑名市	S59	未照査								

※1: 構造物の供用期間中に発生する確率が高い地震動

※2: 現在から将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ地震動

### 3.2.7 対象構造物ごとの被害メカニズムと事前対策

WG1 ではメカニズム分科会を設立し、構造物の概要、過去の被害事例と南海トラフ巨大地震で想定される被害、事前対策案（技術）等についてまとめた。

#### (1) 盛土(宅地)

##### ① 構造物の概要

盛土には、道路土工としての盛土、河川堤防としての盛土、宅地造成としての盛土など様々な種類がある。本報では、特に東北地方太平洋沖地震で滑動崩落により大きな被害を受けた大規模盛土造成地について述べる。大規模盛土造成地とは、①谷埋め型大規模盛土造成地(盛土の面積が3,000m<sup>2</sup>以上)、②腹付け型大規模盛土造成地(盛土前の地盤面の水平面に対する角度が20度以上で、かつ、盛土高さが5m以上)の2つのいずれかに該当するものを指す。

##### ② 過去の被害事例と南海トラフ巨大地震で想定される被害

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震、大規模盛土造成地の活動崩落により、住宅の傾斜や倒壊が報告されている。写真1は、滑動崩落した宅地の一例である。滑動崩落は、地震力および盛土の自重による盛土の滑り出す力がその滑り面に対する最大摩擦抵抗力その他の抵抗力を上回った時に生じる盛土の地滑りの変動を指し、その種類は、全体すべり、ひな壇部分のすべり、複合すべりの3つの形態に分類される。図1に、活動崩落のすべりの形態のイメージを示す。南海トラフ巨大地震でも、十分な対策がなされていないとすれば、愛知、岐阜、三重県の山間部に造成された盛土地でも、東北地方太平洋沖地震と同様の被害が生じる可能性がある。

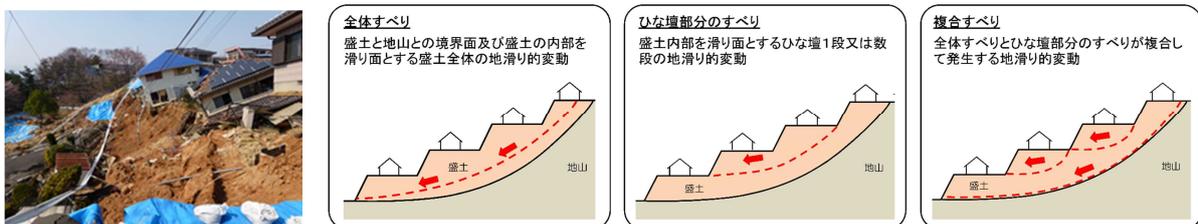


写真1 宅地の滑動崩落の一例<sup>1)</sup>

図1 活動崩落の種類<sup>2)</sup>

##### ③ 宅地耐震化事業

兵庫県南部地震や新潟県中越地震において、滑動崩落により多くの宅地に被害が発生したことを受けて、国土交通省では、「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドライン」や「宅地耐震工法選定ガイドライン」を策定し、宅地の耐震化の推進が図られてきた。しかし、東北地方太平洋沖地震でも多数の甚大な宅地被害が発生したことから、被災の実態および復旧事例を考慮し、「大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説<sup>2)</sup>」を改定している。

##### ④ 現状と今後の課題

大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説には「変動予測調査」「予防対策」「復旧対策」の3つに分けられ対応が示されている。変動予測調査には、第一次スクリーニング、大規模盛土造成地の有無等の講評、第二次スクリーニングがあるが、平成28年7月1日現在で、第二次スクリーニングまで完了している全国の市区町村は僅か28.4%である。南海トラフ巨大地震に向けて、速やかに変動予測調査が実施され、危険個所の抽出および滑動崩落防止工事が進められることが望まれる。

##### 参考文献

- 1) 余川弘至：BLつくば、一般財団法人ベターリビング機関紙、Vol. 15, pp. 38-39, 2013.
- 2) 国土交通省ホームページ：大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説, 2015, URL: [http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi\\_tobou\\_fr\\_000004.html](http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_fr_000004.html), (2017.02.20 閲覧)

## (2) 盛土(河川堤防)

### ① 構造物の概要

河川堤防は、「設計なき構造物」、「歴史的構造物」とも呼ばれる特殊性を持つ。河川の氾濫を防ぐために、地形、地質、水門、起床、洪水パターンなど人為的に決定できない要素が多い。特に重要となる基礎地盤を人為的には選択することはできない。また、人工構造物でもあるが、さまざまな築堤履歴を有し堤体内の構造が不明であることは一般的である。新しく作られる堤防は、「建設省河川砂防技術基準(案)同解説」や詳細には「河川堤防の構造検討の手引き(改定版)」に基づき設計・安全性照査が行われている。

### ② 過去の被害事例と南海トラフ巨大地震で想定される被害

地震時における堤防被害は、基礎地盤の液状化層が液状化することで堤防が堤内側、堤外側の引っ張られるように天端に亀裂が生じ、堤体の重さで沈下していく現象が得られていた(1993年北海道南西沖地震等)。しかし、東北地方太平洋沖地震では、粘性土のような非液状化層の基礎地盤が堤体の重みで圧密を生じ、堤体と地盤の境界面の形状が凹状となり、その上部で堤体に浸透した水が地下水面を形成する閉封飽和域が液状化する堤体内部の液状化が発生している。この現象は、1993年釧路沖地震において泥炭地状に築堤された十勝川堤防や釧路川堤防でも確認されている<sup>1)</sup>。南海トラフ巨大地震発生時には、堤体基礎が液状化層である地盤だけでなく、粘性土地盤に築堤され天端に亀裂などが頻繁に発生する堤防では閉封飽和域が形成されている可能性もあり、同様な被害が想定される。堤体の沈下量は、被災前の天端幅に相当する幅を基準に沈下量を整理した結果によると最大で堤防高の75%沈下することがまとめられている。堤防の耐震性は、地震時に河川の流水の河川外への越流を防止する機能とするものであり、沈下量と平常時の最高水位の関係が重要となる。

### ③ 事前対策案

国土交通省土木研究所から「河川堤防の液状化対策の手引き」において、耐震性能照査手法について沈下予測等の計算を行う方法、対策法についても以下のような対策法を整理している。

表 主な対策法<sup>2)</sup>

対象	工法	大別	位置	代表的な施工法
基礎地盤の液状化	締固め工法	液状化抑制(密度増大)/被害軽減	のり尻直下地盤	サンドコンパクションパイル工法 静的締固め砂杭工法 砂圧入式静的締固め工法 コンパクショングラウチング工法
		液状化抑制(密度増大)	堤体直下全体	機械攪拌工法/高圧噴射攪拌工法 注入固化工法
	固結工法	液状化抑制(固結)/被害軽減	のり尻直下地盤	自立(交換)矢板工法 自立(鋼管)矢板工法(排水機能付き)
	鋼材を用いた工法	被害軽減	のり尻直下地盤	
堤体の液状化	押え盛土工法	液状化抑制(有効応力の増大、粒度の改良)/被害軽減	のり尻～のり面	
	ドレーン工法	同上	川裏のり尻付近	

### ④現状と今後の課題

堤防の耐震性能は、沈下量と平常最高水位との関係が対処されておりところではあるが、地震時の堤体のストレッチやのり尻部の側方変位量が大きい場合に、堤体に亀裂が入ることによって生じる「堤体の緩み」は耐浸透性能の低下を引き起こすことが懸念され、今後の課題となる。また、堤防の液状化発生時の沈下計算法について現在とりまとめられており、今後実務で使用する側の知識が現場技術者に求められることになる。

#### 参考文献

- 1) 佐々木康他:閉封飽和域の液状化による堤防被災過程に関する研究、河川技術論文集、18巻、333-338 2012.
- 2) (国研)土木研究所地質・地盤研究グループ土質・振動チーム:河川堤防の液状化対策の手引き、2016.3.

### (3) 河川構造物

#### ① 構造物の概要

河川構造物には、堰・樋門・水門・揚排水機場などがあり、いずれも堤防と同様に河川に不可欠な構造物である。そのため、「河川構造物の耐震性能照査指針<sup>1)</sup>」によって、レベル1地震動では健全性の維持、レベル2地震動に対しても重要度に応じて機能保持や迅速な機能回復が定められている。その耐震性能の照査は、コンクリート構造物として各部材の耐震性能に応じた限界状態の検討によって行われる。とりわけ樋門について述べると、現存する多くの剛構造樋門では函体のみならず杭基礎の評価も必要となる一方、柔構造を基本とした新設樋門では地盤変形を考慮した函体の評価が必要となる。加えて堤体内にある剛構造樋門においては、構造物の耐震性能のみならず、地震時の抜け上がりによって函体下などに発生する堤体内の周辺地盤の空洞化など、治水上の弱点となりうる箇所の出現にも注意を払う必要がある<sup>2)</sup>。

#### ② 過去の被害事例と南海トラフ巨大地震で想定される被害

樋門などは堤体の中に埋設されていることから、地震時の被害を把握しづらいこともあり、地震後の洪水によって2次災害に繋がりがかねない事例も報告されている<sup>3,4)</sup>。平成23年9月の台風15号では、鳴瀬川水系吉田川の不来内排水機場樋管において異常出水が発生し、鳴瀬川青生江揚水機場樋管においては堤体からの大きな空洞陥没が発生した。これらいずれの被災も半年前の東北地方太平洋沖地震時に受けた函体損傷に起因している。

一方、平成28年熊本地震においても、多くの樋門において液状化に伴う抜け上がり被害が確認されている。地震後の空洞点検において、液状化に伴い大きく抜け上がりが発生した箇所であっても、函体下に空洞が確認されないこともある。ただし、空洞がなくとも、液状化した緩い砂層がかろうじて充填されているだけの可能性もあり、地震によって被災した樋門の危険度評価には課題も多い。また、熊本地震では、水門の門柱のせん断破壊も確認されており、直下型地震の破壊力の大きさを改めて認識するに至った。

さて、南海トラフ巨大地震の発生時には、数多くの河川構造物が被災することが予想できる。そもそも堤防横断構造物である樋門などは、長い延長の河川堤防に分布する治水上のアキレス腱でもあり、地震発災時に堤防天端高が照査外水位を下回らなくても、構造物の被災に起因して大惨事に発展する可能性も否定できない。構造物としての早急な耐震化とともに、函体周辺地盤の評価技術の向上が望まれる。しかしながら、東日本大震災でも浮き彫りになった大きな課題<sup>5)</sup>は、河川構造物の多くが許可工作物であり、堤防と同様の管理水準まで早急に引き上げ、震災後も損傷の見落としなどを無くすことが重要である。

#### ③ 事前対策案

河川構造物の事前対策は、一般のコンクリート構造物と同様に行われる。すなわち、打換えによる軽量部材へ交換、コンクリートの増厚による断面の増加、鉄骨ブレースやコンクリート梁の部材の追加、鋼板接着やせん断補強筋などの補強材の追加、などである。南海トラフ地震では、重要度が低い構造物であれば、発災後の速やかな機能回復を目標とすることになるが、その後の水害による二次災害に備えるためには、樋門であれば水を通すという機能だけではなく、堤防の一部であることを十分に認識して日常管理ならびに事前対策に臨む必要がある。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針，平成24年2月。
- 2) 崔瑛，小高猛司，李圭太：河川構造物周辺堤防における空洞及び緩み領域の発生・発達に関する実験的検討，地盤工学会誌，Vol.63, No.9, pp. 22-25, 2015。
- 3) 東北地方整備局：台風15号概要及び樋管周辺の変状，第4回北上川等堤防復旧技術検討会 資料，2011。
- 4) 大沼敏治，千葉孝寿：堤防開削調査から見た堤防陥没被災原因の考察について，平成25年度東北地方整備局管内業務発表会，2013。
- 5) 畑山作栄，阿部洋行：許可工作物管理のあり方について～東日本大震災後の台風15号（9月）襲来による堤防陥没を受けて～，平成24年度東北地方整備局管内業務発表会，2012。

#### (4) 防波堤

##### ① 構造物の概要

防波堤の構造様式として、傾斜堤、直立堤、混成堤、特殊防波堤に大別できる。本稿では、特に混成堤に分類されるケーソン式混成堤について述べる。ケーソン式混成堤は、海底地盤、捨石マウンド、ケーソンにより構成される構造体であり、港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19年）<sup>1)</sup>に基づいて主に波浪外力を対象とした設計が行われる。

##### ② 過去の被害事例と南海トラフ巨大地震で想定される被害

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震に伴い、特に、津波による被害が甚大に発生した。「東北港湾における津波・震災対策技術委員会」では、防波堤の被災に関してフローを用いた検討を行い、4つに分類している<sup>2)</sup>。①津波波力型、②引波水位差型、③越流洗掘型、④堤頭部洗掘型である。

南海トラフ地震が発生した際においても上記に分類されている被害の発生が想定される。また、伊勢湾の名古屋港、三河湾の衣浦港、豊橋港における防波堤等の海岸構造物においては、比較的軟弱な地盤上に構造物が建設されていることから、地震動による地殻変動や支持地盤の液状化の発生により、構造物が被災したのちに津波が来襲することが想定され、複合的な外力による被害の発生、甚大化する恐れがある。

##### ③ 事前対策案

地盤工学会では、東北地方太平洋沖地震直後に地盤構造物耐津波化研究委員会を立ち上げ、対策等について議論されており<sup>3)</sup>、本稿では一部を抜粋して記載する。

防波堤の対策として、支持地盤を強化する方法と構造物自体を強化する方法が考えられる。前者については、既往の液状化対策技術を援用して地盤改良を行うことが有効と考える。後者については、ケーソンの重量増加やかさ上げ、防波堤背後の腹付工設置による背面抵抗の増加による対策が有用とされており、名古屋港高潮防波堤では、上部工嵩上げ、ケーソン中詰材の改良、洗掘防止対策工による対策が実施されている。防波堤における耐震・耐津波化技術を表1に示す。

表1 防波堤における耐津波対策技術

	安定性向上対策		洗掘・浸食対策
	地盤改良	構造的補強	
新設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・締固め工法</li> <li>・固化・注入工法</li> <li>・圧密・排水工法</li> <li>・置換工法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・腹付けマウンド</li> <li>・ケーソ底面の摩擦抵抗力増加（摩擦マット等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・腹付けマウンド</li> <li>・ブロック、根固め工、被覆工</li> <li>・ケーソン上部工形状工夫</li> <li>・鋼矢板</li> </ul>
既設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・締固め工法</li> <li>・固化・注入工法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・腹付けマウンド</li> <li>・ケーソンの拡幅、重量増大</li> <li>・鋼材を用いた工法</li> <li>・グラウンドアンカー工法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・腹付けマウンド</li> <li>・ブロック、根固め工、被覆工</li> <li>・ケーソン上部工形状工夫</li> <li>・鋼矢板</li> </ul>

#### 参考文献

- 1) 港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19年），（社）日本港湾協会
- 2) 第3回東北港湾における津波・震災対策技術委員会資料-3：東北港湾における津波・震災対策について，H23年9月，<http://www.pa.thr.mlit.go.jp/kakyoin/info/pdf/3shiryuu.pdf>（2017.01.13閲覧）
- 3) 小島謙一，松田達也，金田一広，二瓶泰雄，前田健一，宮田喜壽：沿岸土木構造物の津波に対する対策
4. 防波堤・防潮堤の耐津波化（その2），地盤工学会誌，Vol. 64，No. 1，Ser. No. 696，pp. 39-46，2016.

## (5) 防潮堤・海岸堤防・護岸

### ① 構造物の概要

構造様式として、堤防と護岸と区別されており、傾斜型、直立型、混成型に分類される。本稿では、特に傾斜型と直立型に分類される防潮堤について述べる。傾斜型は石張り式、コンクリート張り式、アスファルト張り式、コンクリートブロック張り式、階段式などがある。一方で、直立型は石積み式、重力式、扶壁式、ケーソン式などがある。海岸保全施設の技術上の基準・同解説（平成16年）<sup>1)</sup>に基づいて設計が行われる。

### ② 過去の被害事例と南海トラフ巨大地震で想定される被害

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震による防潮堤の被害について、国土交通省港湾局では次のようにまとめている。まず、地震動によりブロック積み式においては一箇所の損傷が生じることで、構造物全体の安定性に影響を及ぼす、また、杭基礎を有する胸壁は滑動および転倒は生じないものの、沈下による被害が生じる可能性がある。また、津波被害については、化粧板等の剥がれ、周辺地盤の洗掘等により堤体の転倒や堤体自体の流出が生じる可能性がある。

南海トラフ地震が発生した際、東海地域沿岸では比較的軟弱な地盤上に構造物が建設されていることから、地震動による地殻変動による沈下に加え、支持地盤の液状化の発生に伴い、構造物の沈下や変状が発生する可能性が非常に大きい。また、防波堤と同様に地震動により損傷を受けた構造物に津波外力が作用することで被害が著しく甚大化する恐れがある。

### ③ 事前対策案

地盤工学会では、東北地方太平洋沖地震直後に地盤構造物耐津波化研究委員会を立ち上げ、対策等について議論されており<sup>3)</sup>、本稿では一部を抜粋して記載する。

防潮堤の対策として、構造物内対策と構造物外対策が考えられる。表1は防潮堤（重力式直立型）における耐津波対策技術を示している。例えば、壁厚や鉄筋量など構造体を強化する、擁壁と舗装工の一体化、基礎杭の設置、セメント等による基礎部の補強、鋼矢板による本体直下の基礎地盤流出の抑制が挙げられる。一方で、傾斜型については補強土を応用した新たな堤防、被覆工による裏のり尻部の補強、鋼管・鋼矢板の施工、裏のり面を緩勾配工法が挙げられる。

表1 防潮堤（重力式直立型）における耐津波対策技術

	構造物内対策		構造物外対策
	地盤改良	構造的補強	
新設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 締固め</li> <li>・ 固化・注入</li> <li>・ 間隙水圧消散</li> <li>・ 置換</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 杭基礎</li> <li>・ グランドアンカー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 舗装</li> </ul>
既設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 締固め（コンパクショングラウチング工法等）</li> <li>・ 固化・注入（浸透固化処理工法、バルーングラウト工法等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 杭基礎</li> <li>・ グランドアンカー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 舗装</li> </ul>

### 参考文献

- 3) 海岸保全施設の技術上の基準・同解説（平成16年）、（一社法）全国海岸協会
- 4) 港湾の津波に対する防護のあり方検討会：港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン、H25年11月、<http://www.mlit.go.jp/common/001020131.pdf>（2017.01.13 閲覧）
- 5) 小島謙一、松田達也、金田一広、二瓶泰雄、前田健一、宮田喜壽：沿岸土木構造物の津波に対する対策 4. 防波堤・防潮堤の耐津波化（その2）、地盤工学会誌、Vol. 64, No. 1, Ser. No. 696, pp. 39-46, 2016.

## (6) 斜面災害（落石）

### ① 過去の被害事例と南海トラフ巨大地震で想定される被害

例えば、2016年の熊本地震では、多地点で落石が発生し、道路、鉄道などの陸上輸送網に甚大な被害を発生させた。2011年東北太平洋沖地震における典型的な自然斜面災害の類型を見ると、落石においては遷急線付近や急崖の節理等が発達するシルト岩や凝灰岩等の地質条件を有する地域で発生が確認されている<sup>1)</sup>。南海トラフ地震が発生した際においても、特に山間部の地域をはじめとして、落石被害が発生する可能性があるが、ピンポイントで発生を予測することは非常に困難と考える。

### ② 事前対策案<sup>2),3)</sup>

落石が発生すると人命・物的損害に与える影響が非常に大きい。特に、山間部においては輸送網が限られており、ひとたび落石被害が発生すると、輸送網が寸断され、復旧に時間を要することから集落が孤立する可能性が非常に大きい。落石の発生を予測することは非常に困難なため、保全対象の重要度、落石の規模や発生確率、被災頻度や被害程度などを総合的に判断し、落石危険箇所における対策を講じる必要がある。落石対策については、落石予防工と落石防護工の2つに分けることができる（表1）。

表1 落石対策工の分類<sup>2)</sup>

対策工の分類	落石予防工	落石防護工
対策の概要	落石の発生が予想される斜面内の落石予備物質（浮石・転石）を取り除いたり、斜面に固定したりするなど、発生源に直接働きかけて落石の発生そのものを予防する。	斜面から転落あるいは落下してくる落石の運動エネルギーを吸収・消散させ保全対象に到達することを阻止する。
施工場所	発生源斜面	斜面の途中、保全対象の際
代表的な工種	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 除去工</li> <li>・ 根固工</li> <li>・ ワイヤロープ掛工</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 覆式落石防止網工</li> <li>・ 落石防護柵工</li> <li>・ 落石覆工</li> </ul>

○ 落石予防工については、以下の効果が挙げられている。

- 1) 地表水、凍結融解、温度変化、乾湿の繰り返し、風力等による風化・浸食の進行を防止する。
- 2) 落石予備物質を原位置で直接的に固定する
- 3) 落石予備物質を除去あるいは整理する

○ 落石対策工については、以下の効果が主に期待されている。

- 1) 落下エネルギーを吸収する
- 2) 衝撃に抵抗する
- 3) 落石方向を変えて被害を回避させる

また、落石予防工および落石対策工については、期待される効果と適用可能な工法が落石対策便覧<sup>3)</sup>において詳細に記載されており、参考にされたい。

### 参考文献

- 1) (公社)地盤工学会：地震時における地盤災害の課題と対策 2011 東日本大震災の教訓と提言（第二次）パブリックコメントのための素案（2012年4月10日版），pp. 98-104，2012.
- 2) 一般社団法人 斜面防災対策技術協会（<http://www.jasdim.or.jp/> 2017年4月13日アクセス）
- 3) 社団法人日本道路協会：落石対策便覧，平成12年6月.

## (7) 土砂災害

### ① 土砂災害の素因・誘因

過去の地震時に発生した土砂災害は、震度5強以上の揺れが観測された地域で多く発生している。表1に災害を構成する素因と誘因を整理した一覧表を示す。これは2011年東北太平洋沖地震での災害事例をまとめたものである。

表1 2011年東北太平洋沖地震における典型的な自然斜面災害の類型(若井明彦)<sup>1)</sup>

災害形態	素因			誘因
	地形(増幅効果)	地質・土質	地下水位・水圧	
流動性地すべり (土砂の長距離移動)	・尾根や段丘の頭部 ・遷急線付近の緩斜面	・厚いローム層中の弱層 (乳白色凝灰質粘土層の 繰返し軟化、硬軟の境界 層への応力集中、等) ・流れ盤構造が多い	・集水地形や埋積谷 ・難透水層上の滞水	3/11本震 (巨大海溝型地震動)
岩盤崩壊・落石	・遷急線付近 ・急崖	・節理等の発達するシルト 岩や凝灰岩等	(関連性:低い)	
表層崩壊・がけ崩れ		・多様な地質		
岩盤崩壊	・岩盤クリープ地形 (山地峡谷部)	・凝灰岩類・安山岩の流れ 盤的なキャップロック構造 など	地下水位との関連不明 積雪の影響あり?	3/12関連地震 (内陸直下型地震動) ※新潟南部・長野北部
地すべり (一部は岩盤崩壊)	・尾根の頭部	・第三紀堆積岩:砂泥互層 の流れ盤斜面 ・変成岩(結晶片岩)	多くは(関連性:低い)	4/11関連地震 (内陸直下型地震動) ※いわき市周辺
流動性地すべり (土砂の長距離移動)	(上記の本震時の流動性地すべりとほぼ同一)			夏季の豪雨 ※本震被害が拡大

過去の地震時において土砂災害が発生した地域では、化学的風化や重力斜面変形によって斜面が崩壊直前の状態になっていた箇所が発生したとの指摘がある<sup>2)</sup>。

化学的風化を素因とする土砂災害(地すべり等)は、火砕物内の火山ガラスなどが変質したハロイサイトを含む地質や、炭酸塩岩(石灰岩等)・泥岩などが分布する地域で発生している。また、地震により発生した地すべりでは、事前の先行降雨の有無が崩壊発生状況に影響することが経験的に知られている。2004年の新潟県中越地震では、多くの地すべりが発生したが、ほぼ同じマグニチュードで類似した地形地質条件であった2007年新潟県中越沖地震では地すべりの発生は少なかった。これは、前者が3日前に100mmを超える降雨があったのに対し、後者は降雨が少なかったことが挙げられる。

### ② 事前対策案

地盤工学会では、「平成23年度 学会提言の検証と評価に関する委員会」を立ち上げ、対応策について提言が示されており<sup>1)</sup>、本稿では一部を引用して記載する。

- ・斜面災害の構成要件としての素因と誘因の分析に基づき、過去の災害類型と類似した条件の斜面を広域的かつ効率的に抽出し、個別点検と必要な対策工・耐震補強等を実施することが望まれる。地盤工学会が2011年8月に刊行した「地山補強土工法マニュアル」等に基づいたのり面工や地山補強土工、あるいはアンカー工、杭工、地下水・地表水排除工等の各種工法(改訂新版・建設省河川砂防技術基準(案)同解説(1997))などを参照)の適切な実施および維持管理により、斜面の耐震性向上に努める必要がある。
- ・尾根・段丘の頭部といった地震動が増幅しやすい微地形、厚い風成ローム層中に狭在する凝灰質粘土層の繰返し載荷による軟化、集水地形や滞水条件など、従前の災害素因の教訓を参考にすべきである。特に、各地の風成ローム層が狭在する鋭敏な粘土層の繰返し軟化特性を詳細に知ることは、今後の巨大地震時の火山由来地盤の災害特性を把握する上で有用である。

### 参考文献

- 1) 地震時における地盤災害の課題と対策 2011 東日本大震災の教訓と提言(第二次) パブリックコメントのための素案(2012年4月10日版)、(公社)地盤工学会、P98-104.
- 2) 千木良雅弘: 近年の地震による急激な地すべりから学ぶもの、シンポジウム-大規模地震に備えた地すべり技術の展望、平成26年6月20日、(公社)日本地すべり学会、pp.2-5.

## (8) 上下水道管

### ① 構造物の概要

上下水道管路は人間の血管のように都市施設の隅々にまで張り巡らされており、普段は目に見えていなくても震災等で被害を受けるとその流れがストップし、都市機能に大きなダメージを与えることになる。

下水道管路は大きく分けると下水道管きよとマンホールで構成されている。下水道管きよの材質は陶管、塩ビ管、ヒューム管が多く用いられており、管の口径はφ250mm～φ3000mmである。マンホールは円形の組立てマンホールから矩形の現場打ち大型人孔まであり大きさはさまざまである。

上水道管路は、取水場から浄水場までの導水管、浄水場から給水施設（配水池、ポンプ場）までの送水管、給水施設から水を送る配水管と各家庭に水を給水する給水管に分けられる。管の材質は塩ビ管、ダクタイル鋳鉄管、鋳鉄管、鋼管などが多く用いられており、管の口径はφ75mm～φ900mmが多い。上水道管の継手は管種が同じでも異なった継手があり、管の耐震性能も継手の形状により異なる。

上下水道管路は、耐震性能の他に管の老朽化も問題になっており、下水道管きよでは管の耐震化も兼ねた管更生工法による老朽管対策が行われている。上水道管では老朽管を耐震管に取り替えることにより耐震化を兼ねた老朽管対策を行っている。

### ② 過去の被害事例と南海トラフ巨大地震で想定される被害

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では上下水道管に多くの被害が見られた。下水道管路では600km以上の下水道管きよの被害と15,000基以上のマンホール被害が確認された。上水道の管路被害は埋設管が14,587箇所、水管橋・橋梁添架管が331箇所、海底送水管が6箇所であった。

下水道施設の被害の特徴としては、液状化によるマンホールの突出や管きよ埋戻し部の路面異常（陥没）、土砂による管きよの閉塞、マンホールの躯体ずれ、管きよの蛇行やたるみなどがある。

上水道管路では、地盤の変状による管体部や継手部の破損、管の抜け出しの被害が多い。東北地方太平洋沖地震の特徴として、液状化地区の他に丘陵地等における宅地造成等の人工改変地区での被害も見られた。南海トラフの巨大地震が発生した場合、これらと同様の被害が発生するものと考えられる。

### ③ 対策案

下水道管路施設の耐震対策としては、2004年10月の新潟県中越地震を契機に改定された「下水道施設の耐震対策指針と解説2006年版」で下水道管きよやマンホールの埋戻し土の液状化対策が示された。

碎石等による埋戻しや現地の掘削土にセメントを混合して埋め戻すセメント固化は東北地方太平洋沖地震の時にその対策効果が確認されている。既設の組立てマンホールの液状化対策としては、マンホール側壁に穴を開けて過剰間隙水圧をマンホール内に抜く工法（過剰間隙水圧消散工法）やマンホール上部の斜壁にリング状の浮上抑制ブロックを設置して上載土の重量を増加させる工法（重量化工法）などがあり、こちらについても東北地方太平洋沖地震の時にその対策効果が確認されている。

上水道管路の耐震対策としては、老朽管や耐震性能の低い継手の管路を耐震管に取り替えることが行われている。特に災害時に給水が必要となる避難所、病院等の重要施設への給水が行えるように導水管、送水管、配水本管及び重要施設に供給する配水管については優先的に耐震化（更新）することが目標にされている。上水道管路の耐震化は構造的に強化するだけでなく、配水系統間の連絡管やループ管等により給水経路を複数化することで、一部が被災しても断水が生じないようにする管路システムとしての耐震化も行われている。

## 参考文献

- 1) 下水道施設の耐震対策指針と解説-2014年版-, (公社) 日本下水道協会
- 2) 水道施設耐震工法指針・解説 2009年版, (社) 日本水道協会
- 3) 深谷 渉：下水道管路施設における耐震化技術の有効性評価と今後の技術的課題
- 4) 管路の耐震化に関する検討報告書, 平成26年6月, 平成25年度管路の耐震化に関する検討会

## (9) 液状化（道路被害等）

### ① 構造物の概要

地震時の液状化現象は、臨海平野の軟弱地盤、埋立て地盤、台地・丘陵地の谷埋め軟弱地盤などで発生する。本稿では、道路の被害について述べる。道路の構造様式として、橋梁、擁壁、人工盛土・切土、カルバート、舗装に大別できる。道路構造物については、道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）2012<sup>1)</sup>に基づいて液状化の予測による設計・施工が行われる。

### ② 過去の被害事例と南海トラフ巨大地震で想定される被害

1995年に発生した兵庫県南部地震では、液状化による地盤の側方流動に伴い、橋脚に被害が発生し、阪神高速道路の西宮港大橋が落橋した<sup>2)</sup>。2011年の東北地方太平洋沖地震では、谷埋め盛土や平野部の軟弱地盤での盛土の被害、道路面の変状が発生している<sup>3)</sup>。

南海トラフ地震が発生した際においても同様の被害の発生が想定される。伊勢湾沿岸の臨海平野部や埋立て地の軟弱地盤、そしてその背後の山地間・丘陵地間・台地間の低地では比較的脆弱な地盤上に構造物が建設されていることから、地震動による地殻変動や支持地盤の液状化の発生により、構造物が被災したのちに津波が来襲することが想定され、複合的な外力による被害の発生、甚大化する恐れがある。

### ③ 事前対策案

東北地方太平洋沖地震では、公的機関が整備した道路では液状化に対する予測法や対策法が順次整備されたこともあり、地盤の液状化による被害は見られたものの軽微であった。しかし、東京湾臨海部の若年埋立て地では、地表面加速度がレベルⅡに達せず殆どの構造物に被害はないものの、大規模な液状化が発生した。これについては、地震動の継続時間が長かったことが指摘されている。また、2016年の熊本地震では、M6.5とM7の地震が2日おいて連続に発生し、液状化被害も発生している。このように一義的でない不規則な地震動の負荷による液状化の発生が見られ、液状化の予測法の基準についても現在、全国を共通にした地震動を設計地震動の考え方をしていることから、個々の場所の個々の地震による地盤の液状化予測の精度が十分でないとして、予測法の精度の改善が指摘されている<sup>3)</sup>。

液状化防止対策としては地盤改良を行うことが有効と考えられ、公的機関の道路整備では、事前予測に伴い締固め工法・固化注入工法・置換工法の適用による強化が図られている（表1参照）。しかし、道路構造物には最新の耐震設計基準前に整備された構造物が多く存在していることを考えると、事前対策として液状化対策は喫緊の課題である。

表1 これまで開発されてきた液状化防止対策工法<sup>3)</sup>

改良原理	工法
密度の増大	サンドコンパクションパイル工法（動的／静的締固め）、振動棒工法、重錘落下工法、バイプロフローテーション工法、圧入締固め工法、バイプロタンパー工法、転圧工法、発破工法、群杭工法、生石灰工法、プレローディング
固結	深層混合処理工法、薬液注入工法、事前混合処理工法、高圧噴射攪拌工法
粒度の改良	置換工法
飽和度（地下水位）低下	ディープウェル工法、排水溝工法
間隙水圧抑制・消散	グラベルドレーン工法、人工材料系ドレーン工法、周辺巻き立てドレーン
せん断変形抑制	地中連続壁工法

### 参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）2012，（社）日本道路協会
- 2) 岡二三生 地盤液状化の科学 近未来社 2001.
- 3) 地盤工学会 地震時における地盤災害の課題と対策 2011.

### 3.2.8 地域地盤の照査

南海トラフ巨大地震だけでなく、これまでの豪雨災害も含めて海岸沿線地域の津波対策をも含めた照査および自治体の事前対策等を調べるために、2016年1月27日（金）に、平成23年紀伊半島大水害により三重地域での災害を受けた現場と南海トラフ巨大地震の津波被害に対しての三重県、熊野市、御浜町、紀宝町の自治体の現状を視察した（参加者 21名）。

#### 現場見学会 行程表

2016年1月27日（金）

JR津東口別紙参照

8:45集合

9:00発

JR津駅発 → 名鉄観光バス 移動 20名	所要時間 2:00	11:30 着 (0:30) 12:00 発 御浜町役場 くろしおホール 三重県南部の被害想定 (津波避難計画等の説明) 担当: 三重県 奥野様 30分程度 ①	所要時間 0:00	12:00 着 (0:30) 12:30 発 御浜町役場 くろしおホール 昼食・意見交換 (弁当+お茶配布) 担当: 御浜町役場 古根川 30分程度 ② ※予算1,000円/1名	所要時間 0:20
12:50 着 (0:30) 13:20 発 紀宝町役場 津波タワー見学 (タイムライン行動等の説明) 担当: 紀宝町役場 中村様 20分程度 ③	所要時間 0:10	13:30 着 (0:30) 14:00 発 輪中堤(堤防破壊箇所) 明和小学校(公共施設被災箇所) (豪雨災害 見学) 担当: 紀宝町役場 中村様 30分程度 ④	所要時間 0:15	14:15 着 (0:45) 15:00 発 志原川周辺(低地浸水エリア) 浸水エリアの散策 (津波被害想定・対策の説明) 担当: 熊野市 宇城様 45分程度 ⑤	所要時間 2:00

17:00 着

JR津駅 → JR津駅着 名鉄観光バス 移動 20名
----------------------------------



### ①,②三重県南部の被害想定（津波避難計画等の説明）

三重県南部は、火山性の岩盤が分布しており、奇岩などが多数ある地域である。狭い平野を河川が横断する形で海へ流れており、下図に示すような道路および鉄道が山沿いのトンネルから出てその入り江、河口を渡るような地形が多い特徴がある。



図 3.2.58 入り江の河口を渡る交通網



写真 3.2.1 三重県での説明

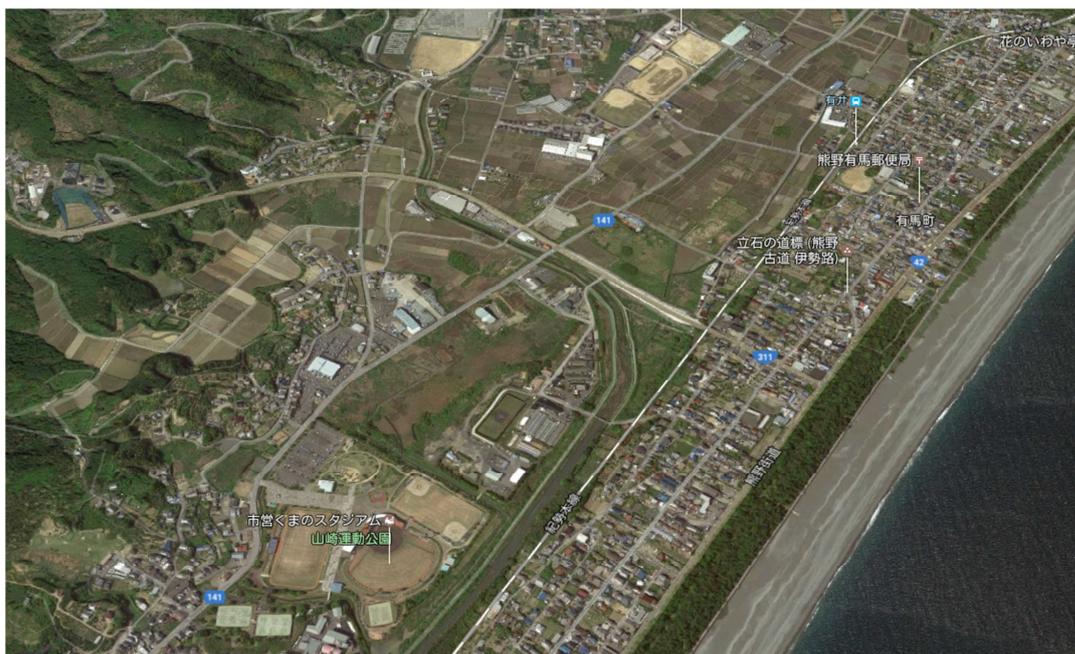


写真 3.2.2 浜堤の上の集落と山地との間の低平地（熊野市 Google Map より）

また、内陸部は山地が繋がっている一方、海岸に平行して浜堤（ひんてい）が形成されており、その間にある平地が最も低く、一旦、浸水するとなかなか水が引かない地形となっている。多くの集落は浜堤の上または斜面よりに集まっている。紀勢本線は浜堤の上を走っている。こうした地形でできた低平地の幅が500-1000m と広く、津波が発生した場合に浜堤にいる人々は内部の山地まで逃げることは難しく、津波避難タワーが重要となる。

### ③紀宝町の津波タワー

紀宝町では、役場庁舎の横に津波避難ビルを建設し、約 800 人が避難できる一時避難場所を設けている。また、その下には防災対策担当室が設けられ、備蓄倉庫や自家発電装置などを備えている。



写真 3.2.3 ソーラパネルの避難ビル屋上



写真 3.2.4 タワー内部のフロア



写真 3.2.5 避難ビル内の防災対策担当室



写真 3.2.6 免震台上のデータサーバ



写真 3.2.7 備蓄倉庫



写真 3.2.8 地震によって解錠可能な装置

#### ④輪中堤（堤防被害箇所）

熊野川の支川である相野谷川（おのだにがわ）が平成23年台風12号に越水堤防被害が出たため、熊野川の河道掘削が行われ、平成27年7月台風11号の大規模な出水時には整備効果が確認された。現在も輪中堤の整備が行われている。



写真 3.2.9 高岡地区輪中の越水  
（国交省近畿地方整備局 HP より）



写真 3.2.10 新設の輪中

#### ⑤熊野市、浸水エリアの散策

産田川、志原川が合流して七里御浜に流れているが、出水時前に御浜町と連携して浚渫により河川水位を下げるような対策をとっている。



3.2.11 志原地区シリンダーシェルター



写真

写真 3.2.12 紀伊半島大水水害  
既往水位(H23.9.4)

本見学会は、三重大学 酒井俊典教授、国交省木曾川下流河川事務所 尾畑功様にご尽力いただき、三重県、熊野市、御浜町、紀宝町の皆様のご協力のもと行われた。ここに、皆様に感謝の意を表します。

## メディアへの発信

1) 平成27年2月24日 11:50 と 12:15 NHK 三重県のニュース 津放送局

### ■ 海拔0m地帯で地盤調査



巨大地震の液状化対策として、海拔ゼロメートル地帯が広がる桑名市で、液状化の被害が少ない場所を見つけて、住民の避難路に役立てる地盤の調査が始まりました。

木曾三川の河口に海拔ゼロメートル地帯が広がる桑名市は、南海トラフの巨大地震で液状化が起きて、堤防が壊れたり、道路が使えなくなったりするおそれがあります。

このため住民の避難に役立てようと、地盤工学会中部支部は地盤の構造を調べて液状化の被害が少ない場所を見つける調査を始めました。

24日、桑名市長島町には、中部支部の研究者や建設業者など9人が出て、道路の1メートル間隔でセンサーを置いて木づちで地面をたたいて振動を与え、振動の伝わる速さのデータを取っていました。

調査は、固い地盤ほど振動が速く伝わる性質などを利用して、地盤の固さを測定するというのです。

地盤工学会中部支部では来年度中に調査と分析を終え結果を地元の桑名市に提供し、避難マップの作成に活用してもらうことにしています。

調査の責任者を務める中部大学の杉井俊夫教授は「液状化の被害を予想し、地域の人たちの防災意識の向上に役立ててもらえれば」と話していました。

02月24日 12時01分

2) 平成27年2月25日 朝日新聞 「液状化懸念、桑名の県道調査」14面

### ■ 液状化懸念、桑名の県道調査

木曾川と揖斐川の河口部に挟まれた三重県桑名市の長島地区で24日、地盤工学会の研究者らが市の要請を受け、地震による液状化の危険性を調べる地盤調査をした。

調査したのは、二つの河川を結ぶ形で流れていた旧河川の一帯で、昭和初期に埋め立てられた旧青鷲（あおさぎ）川の上を走る県道約400㍍。周辺には住宅も立ち並んでいる。県の想定ではもともと液状化の危険性が「極めて高い」とされ、旧河川の埋め立て地の地盤は特にもろい可能性があるという。

- 3) 平成27年2月25日 伊勢新聞 「液状化に備えて桑名で地質調査」 15面



ハンマーで地面をたたく作業員。桑名市長島町福吉で。

## 液状化に備えて 桑名で地質調査

地盤工学会 6月ごろ結果公表

【桑名】地盤工学会中部支部は二十四日、液状化の可能性を調べるため、桑名市長島町の海拔ゼロ帯地帯で地質調査をした。六月ごろ調査結果を一般公表し、発生が危惧されている南海トラフ地震の対策に役立ててもらおう。

調査は、同町福吉の旧河道付近の県道約四百メートル。ハンマーで地面をたたき、地中から跳ね返ってくる振動を一センチごとに設置したセンサーで測定する「表面波探査」という方法で地中の構造を調べた。

同市の海拔ゼロ帯地帯は南海トラフ地震が発生した場合、県の被害想定で液状化の危険度が「極めて高い」と予想されており、市が支部に調査を依頼していた。

調査に参加した中部大工学部の杉井俊夫教授は「避難経路の地盤の状況をしっかり理解してもらい、地震発生時に安全に逃げられるきっかけにしたい」と話した。

- 4) 平成27年8月11日 18:10~19:00 「ほっとイブニング」 愛知県内放送

#### 【参考・引用文献】

- 1) 三重県液状化危険度予測分布図, (<http://www.pref.mie.lg.jp/D1BOUSAI/84543007860.htm>)
- 2) 木曾川下流河川事務所: 木曾川堤防変遷図, [http://www.cbr.mlit.go.jp/kisokaryu/sub\\_index/sub\\_index\\_05.html](http://www.cbr.mlit.go.jp/kisokaryu/sub_index/sub_index_05.html)
- 3) Takashi Ogami, Toshihiko Sugai, Osamu Fujiwara (2015) : Dynamic particle segregation and accumulation processes in time and space revealed in a modern river-dominated delta: A spatiotemporal record of the Kiso River delta, central Japan. *Geomorphology*, 235, 27-35.
- 4) 表土層調査技術研究会(2015) : SH型貫入試験技術・調査基準同解説 (<http://www.hyoudoken.jp>)
- 5) 若松加寿江 (1991): 「日本の地盤液状化履歴図」, 東海大学出版会
- 6) 日本建築学会 (2008): 「小規模建築物基礎設計指針」
- 7) (財)沿岸開発技術研究センター (1977): 「埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版)」 運輸省港湾局監修
- 8) 国土交通省 (2014): 「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」 [http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi06\\_hh\\_000009.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi06_hh_000009.html)
- 9) 国土交通省(2014): 「市街地液状化対策推進ガイドンス」 [http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi\\_tobou\\_fr\\_000005.html](http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_fr_000005.html)
- 10) 国土総合技術研究所 (2014): 「宅地の液状化被害可能性判定計算シート」 <http://www.nilim.go.jp/lab/jbg/takuti/downloads.html>
- 11) 杉井俊夫, 余川弘至, 浅野憲雄, 杉本雄奎, 酒井駿 (2016) : 貫入抵抗値の波形解析による地盤調査の試み, 第51回地盤工学会研究発表会.
- 12) 公益社団法人地盤工学会(2013) : 地盤調査の方法と解説2分冊の1 pp.279~325.
- 13) 李圭太, 小高猛司, 崔瑛, 高木竜二, 大野雄貴 (2015) : 詳細な地盤調査に基づく河川堤防の地震応答解析, 第50回地盤工学会研究発表会.
- 14) 大野雄貴, 小高猛司, 崔瑛, 李圭太 (2014) : 庄内川堤防基礎地盤粘性土のサンプリングと変形・強度特性, 第69回土木学会年次学術講演会.

- 15) 高木竜二, 大野雄貴, 小高猛司, 崔瑛, 李圭太 (2015) : 庄内川堤防砂質土の静的・動的力学特性, 平成 26 年度土木学会中部支部年次学術講演会
- 16) 図説 河川堤防 中島秀雄著 技報堂出版 2003 年 9 月 10 日
- 17) 国土交通省 国土地理院 応用地理部 防災地理課 : 治水地形分類図 解説書, 平成 27 年 8 月.
- 18) 国土地理院時報 No.109: 治水地形分類図の概要について, 2006
- 19) 国土交通省 木曾川下流河川事務所 HP: 木曾三川下流部広域防災ネットワーク検討会
- 20) 国土交通省 木曾川下流河川事務所 HP: 木曾三川河口部の耐震対策 進捗状況

※未投稿原稿資料

「木曾三川下流部における河川堤防の耐震性調査」

東京電機大学副学長 安田 進 教授

2016年6月3日(金)に行われました「南海トラフ巨大地震中部地域地盤災害研究委員会 中間報告会・特別講演会」にて、特別講演会の講師をつとめられた東京電機大学副学長 安田 進先生より、後日、WG1の調査対象地域の木曾三川下流部に関する未投稿原稿のコピーをいただきました。約40年前に安田先生がコンサルタントにお勤めになられて耐震性の検討をされた調査結果をまとめられた論文です。河川堤防の耐震性調査の方法について貴重な情報が含まれており、WG1で対象とした調査とも関連が深く、重要な結果が得られていることから安田先生のご了解を得て、ここに掲載させていただきました。

ここに、本委員会の貴重な資料として掲載をお認めいただいた安田先生に深く感謝いたします。

「南海トラフ巨大地震中部地域地盤災害研究委員会」

WG1 長 杉井俊夫 (中部大学)

# 木曾三川下流部における河川堤防の耐震性調査

東京電機大学 安田 進

## 1. まえがき

関東地震(1923)、福井地震(1948)、新潟地震(1964)、十勝沖地震(1968)、宮城県沖地震(1978)と、過去の大地震のたびに、河川堤防は多くの被害を受けてきた。例えば宮城県沖地震の際の河川施設の被害額は、被害総額の約5%にも及んでいる。

河川堤防の地震時被害は、単に堤防が壊れただけの被害に留まらないことがある。つまり、出水期と重なり復旧が間に合わないこと、二次災害である洪水を生じる危険性がある。事実、福井地震では10日後の出水により破堤し、被害を大きくしている。

このように、河川堤防は地震被害を過去に多く受け、また耐震性を必要とする構造物でありながら、他の土構造物と同様に、今日までほとんど耐震性の検討および耐震対策が行われてこなかった。したがって、耐震性の調査手法もまだ確立されたものがないのが現状である。

木曾三川(木曾川、長良川、揖斐川)の下流部においても、過去に濃尾地震(1894)、東南海地震(1945)により河川堤防は大きな被害を受けてきた。また最近、東海地震の発生も予想されているが、この地震等によっても将来被害を受ける可能性があると考えられている。さらに、広範囲なゼロメートル地帯を背後にひかえているため、早急に耐震性の検討および耐震性対策を行うことが必要と考えられてきた。

そこで、これに対処すべく、木曾三川下流部の河川堤防について、耐震性の調査から対策工の検討までの一貫した調査を、ここ数年間行ってきた。この調査、検討過程およびそこで明らかにされてきた事項について以下に報告したい。

## 2. 調査、検討範囲

今回対象とした範囲は、図-1 に太い実線で示した木曾三川下流部(木曾川 0~24km、長良川 0~24km、揖斐川 0~27km等)である。このうち下流部の約半分は高潮対策区間となっている。

堤防高さは約5~10kmで、上流側は土堤、下流側は三面張りの構造となっている。

## 3. 調査、検討手順

調査、検討手順をフローチャートで示すと、図-2 となる。今回の方法の特徴を列挙すると次の通りである。

- (1)危険箇所の抽出方法に確立されたものがないため、過去の震害調査をもとにした被災要因の検討、詳細な土質調査、地震応答解析を行ない、抽出方法を作り出した。この場合対象としている堤防の延長が非常に長いため、代表地点だけをとりあげて詳細な土質調査及び地震応答解析を行ない、その結果をもとに、全延長に適用できる簡易式等を作り出し、危険箇所の抽出に用いた。

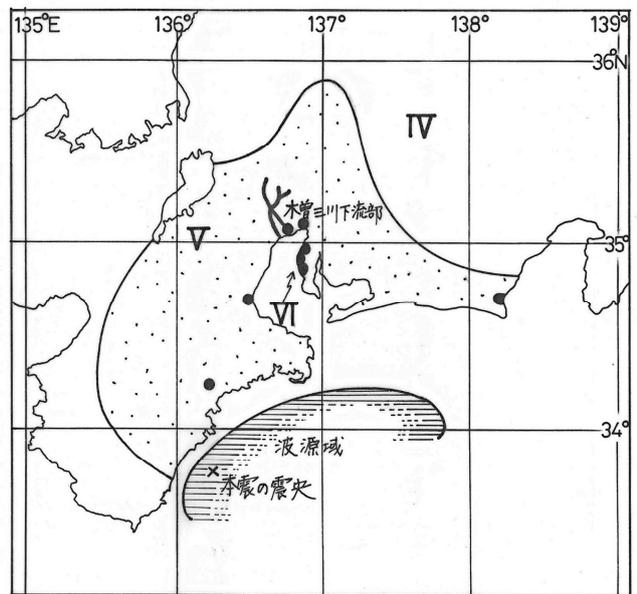


図-1 調査位置および東南海地震の震央位置<sup>1)</sup>

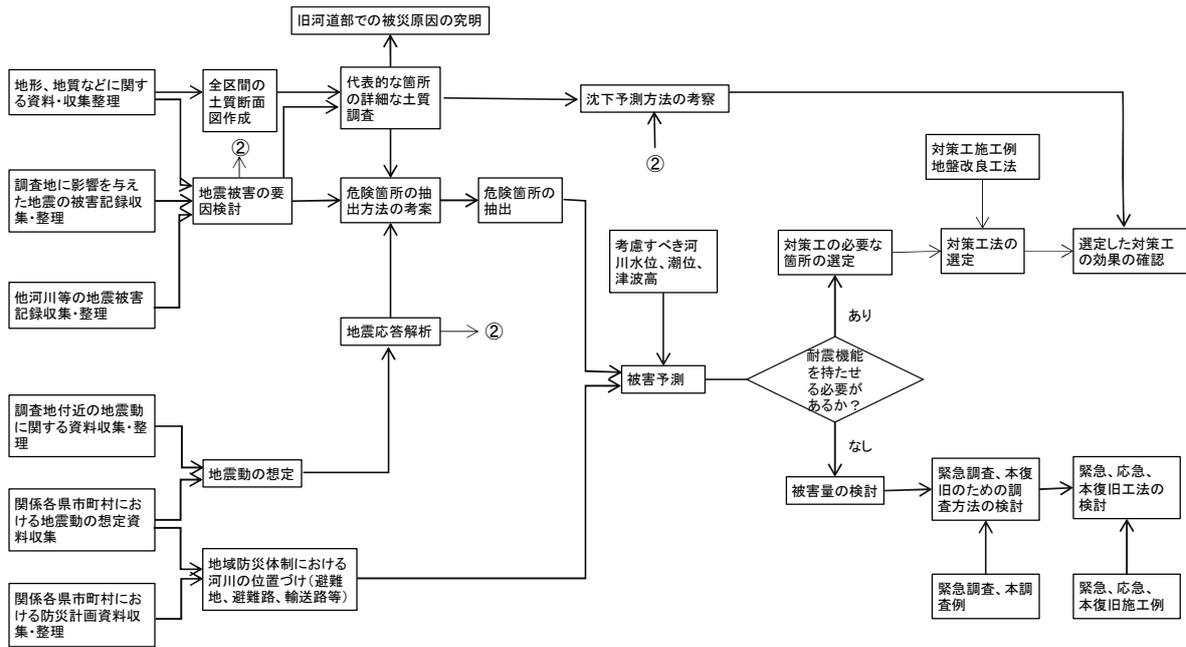


図-2 調査、検討方法のフローチャート

(2)地震時に堤防に被害が生じる危険箇所においてすべて対策が必要とは考えなかった。地震中から復旧工完成の間までに浸水する可能性や、地域防災体制とのかかわりあいでの対策工の必要な箇所を選定した。以下、図-2のフローチャートに従って、各調査、検討結果を述べる。

#### 4. 過去の地震被害の調査

表-1 文献や資料により被害状況を調べた地震

過去の地震による河川堤防の被害状況およびその原因について調べるために、まず表-1に示した地震をとりあげ、関連ある文献や資料を集めた。これらを調べた結果次のようなことが明らかになった。

分類	地震名
調査地に影響を与えた地震	濃尾(1891年)、江濃(1909年)、東南海(1944年) 三河(1945年)、南海(1946年)
調査地に関係ない地震	関東(1923年)、福井(1948年)、新潟(1964年) 十勝沖(1968年)、宮城県沖(1978年)

(1) 一般に、旧河道・湖沼を埋め立てた所、洪水による破堤履歴のある所、のり先付近に池・沼・水路のある所などで被害をよく受けている。

(2) 沈下量についてみると、最大で4~5mもの沈下を生じた堤防もある。

以上のようなことが明らかにされたが、調査地に影響を与えた地震が多少古かったり戦争中であったため、被害箇所および状況が文献や資料だけでは詳しくわからなかった。また、調査地以外の地震の被害箇所には、調査地の地盤構成と異なる、粘性土地盤や砂レキ地盤での被害も含まれており、一応の参考にしかならなかった。そこで、調査地に大きな被害を与え、しかも調査地の深度がV程度(これは後述するように、将来想定しておくべき深度と同程度である)であった東南海地震に焦点を絞り、聞きこみによる詳細な調査を行なった。なお東南海地震の震源と震度分布は図-1に示した通りである。

東南海地震が起きたのは約35年前と、それほど古くないため、当時の関係者の記憶をたどれば被害状況は詳しくつかめるものと考えられた。そこで当時の河川堤防の関係者および付近の住民201名を対象として聞きこみ調査を行なった結果、ほぼ全域にわたって被害状況が詳しく判明した。被害状況を地図上に記入した例を示すと図-3となる。図にも示されているように天端やのり面のキレツ以外にも、沈下や崩壊が多く生じている。特に、3~4mも沈下した箇所が数箇所、1~2mの沈下が生じた箇所は10数箇所に

も及んでいる。一般に下流部での被害が大きい。

東南海地震による被害の要因を探るために、まず微地形区分との関連を調べてみると、図-4 となった。図からわかるように、確かに旧河道では被害率が高かった。

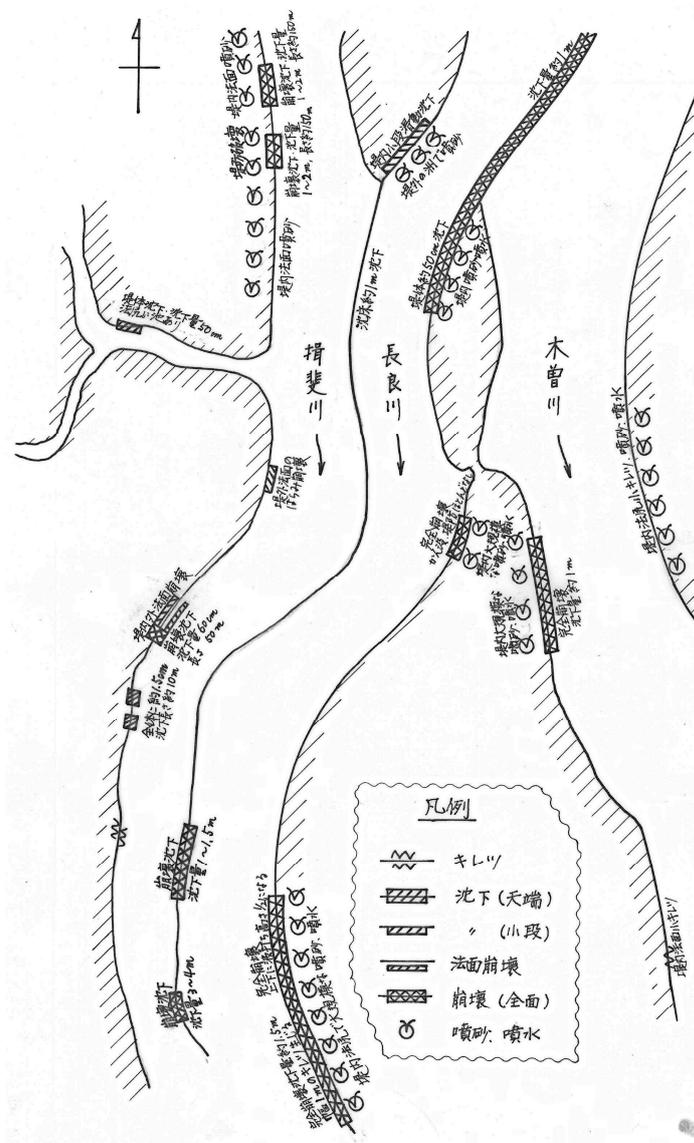


図-3 被害調査例

次に、被災量の指標として沈下量を採用し、地震時の液状化発生の有無、現在での漏水の有無等との関連性を調べてみた。沈下量を指標としたのは、後述するように、対策工が必要な堤防は、主に地震時から復旧までの間に越水を起こす危険性がある堤防であり、結局、沈下量が一番問題となるからである。液状化発生の有無と沈下量の関係、両者にかかなり高い相関関係が得られた。これに対し、当時の法尻での土地利用状況(湿地か平地か人家があったか)とか、現在の漏水箇所との関連性はみられなかった。なお、液状化との関連性をもっと定量的に把握するために、収集した全域のボーリング

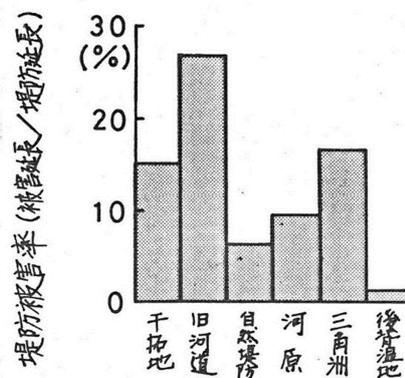


図-4 被害率と地形の関係

資料をもとに、 $N$  値から岩崎、龍岡らの方法に従って現状での液状化指数  $PL$  を計算し、地震時当時の沈下量との関係をまとめてみた。この結果が図-5 であり、 $PL$  は大きくなるほど液状化の程度が激しくなる指標であることから、沈下量とのよい相関があると言えよう。ただし、バラつきがあるのは、堤内地のり尻部直下の地盤について  $PL$  を計算しており、堤防形状、堤防材料等の影響が考慮されていないこと等に起因していると考えられる。

## 5. 土質性状の調査および検討

### 5.1 調査および検討方法

調査地域の土質性状を明らかにし、危険箇所の抽出や対策工の検討に用いるため、各種の土質調査および検討を行なった。これらは大別すると次の3つに分けられる。

- (1) 全区間の土層断面図の作成
- (2) 代表的な箇所での土質調査、およびそれをもとにした危険箇所の抽出方法および沈下量の予測方法の考案
- (3) 旧河道箇所では被害が大きかったことの原因究明

なお、(3)については、前章で述べたように被害調査の結果旧河道で被害が多かったために、その原因を詳細に探るために行なったものである。

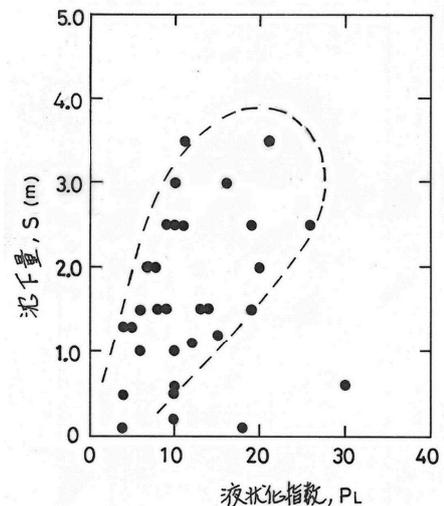


図-5 沈下量と液状化指数の関係

### 5.2 土層断面図の作成

河川堤防について土質調査が行なわれてきた箇所は少ない。そこで、橋梁や周辺の構造物も含めて、堤防から 100m 以内のボーリング資料を収集し、縦横 1/1000 のスケールの土層断面図を作成した。この結

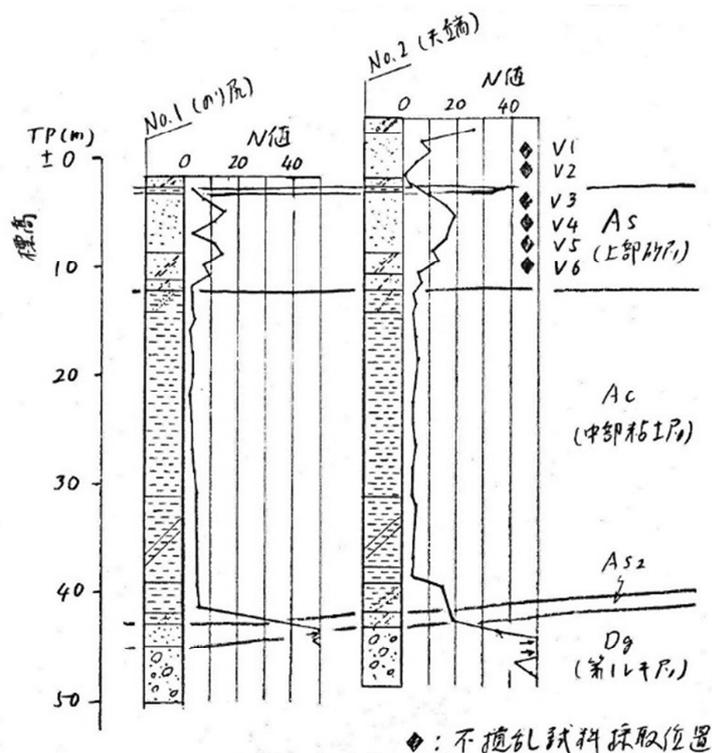


図-6 代表的な箇所の土質調査例

果、全域にわたって表層に10~15mの厚さでN値が8~30程度の上部沖積および埋立て砂層（細砂~粗砂）が堆積し、その下部に40~50mの深さまで沖積粘土層（中部粘土層）が、そしてその下部にN値が50以上の洪積砂レキ層が堆積していることが明らかとなった。従って、地震時には沖積層での地震波の増幅作用と、沖積砂層の液状化が特に堤防の安定性に影響を与えると考察された。

### 5.3 代表的箇所での土質調査

土層断面図および東南海地震による被災状況をもとに代表的な箇所を6箇所選び、土質調査を行なった。図-6にその一例を示したが、原位置調査としてはボーリング、標準貫入試験、PS検層および上部砂層・堤体土の不攪乱試料採取を行なった。採取した試料は三軸圧縮試験で静的強度常数を求めると同時に、振動三軸試験を約30試料実施して、液状化特性を求めた。

液状化特性については、N値、平均粒径 $D_{50}$  (mm)、有効上載圧 $\sigma'_v$  (kgf/cm<sup>2</sup>)との関係をまとめてみたところ、龍岡<sup>3)</sup>が他の地域についてまとめた同じ次式が成り立つことが明らかになった。

$$R_l = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_v + 0.7}} + 0.225 \cdot \log_{10} \frac{0.35}{D_{50}} \quad (0.04 \text{ mm} < D_{50} \leq 0.6 \text{ mm})$$

$$R_l = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_v + 0.7}} - 0.05 \quad (0.6 \text{ mm} \leq D_{50} < 1.5 \text{ mm})$$

(1)

ここで $R_l$ : 20回の繰返しで液状化を生じる応力比

ただし、この式はのり尻下でサンプリングした資料につきよく成り立ち、堤頂下からサンプリングした資料については(1)式にさらに0.075ほど加えた式の方が合っていた。

液状化特性のもう一つのまとめとして、液状化抵抗係数 $F_L$ と発生する過剰間隙水圧比 $u/\sigma'_0$ との関係を龍岡の方法<sup>4)</sup>に従って求めた。図-7にその結果を示す。後述するように、これと(1)式との簡易関係式

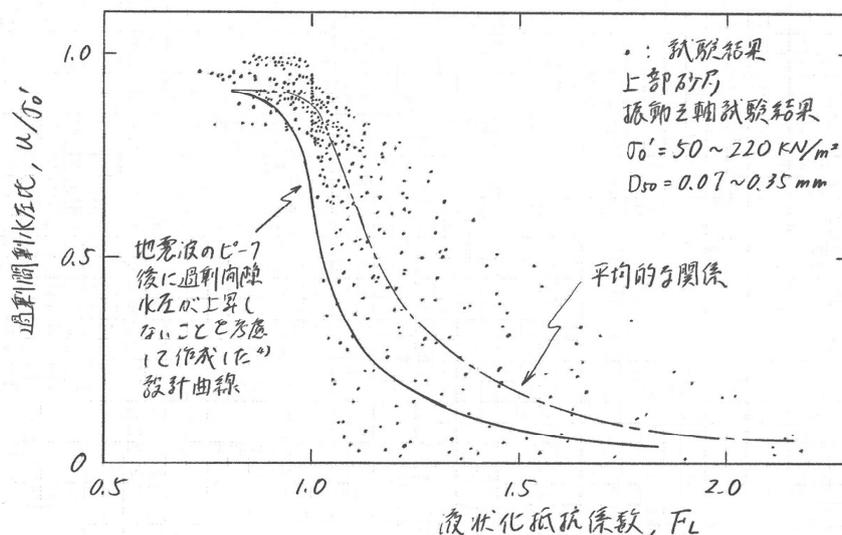


図-7 液状化抵抗係数と過剰間隙水圧比関係

をもとに、沈下量の予測方法を考案し対策工の検討の際に利用した。一方、(1)式を全区間の土質調査結果に適用し、液状化指数  $PL$  を全区間にわたって計算した。この結果は、危険箇所の描出に用いた。

#### 5.4 旧河道の詳細な調査

旧河道上に築堤され、東南海地震で被害を受けた例として、木曾川右岸 11.2~11.4km の堤防をとりあ

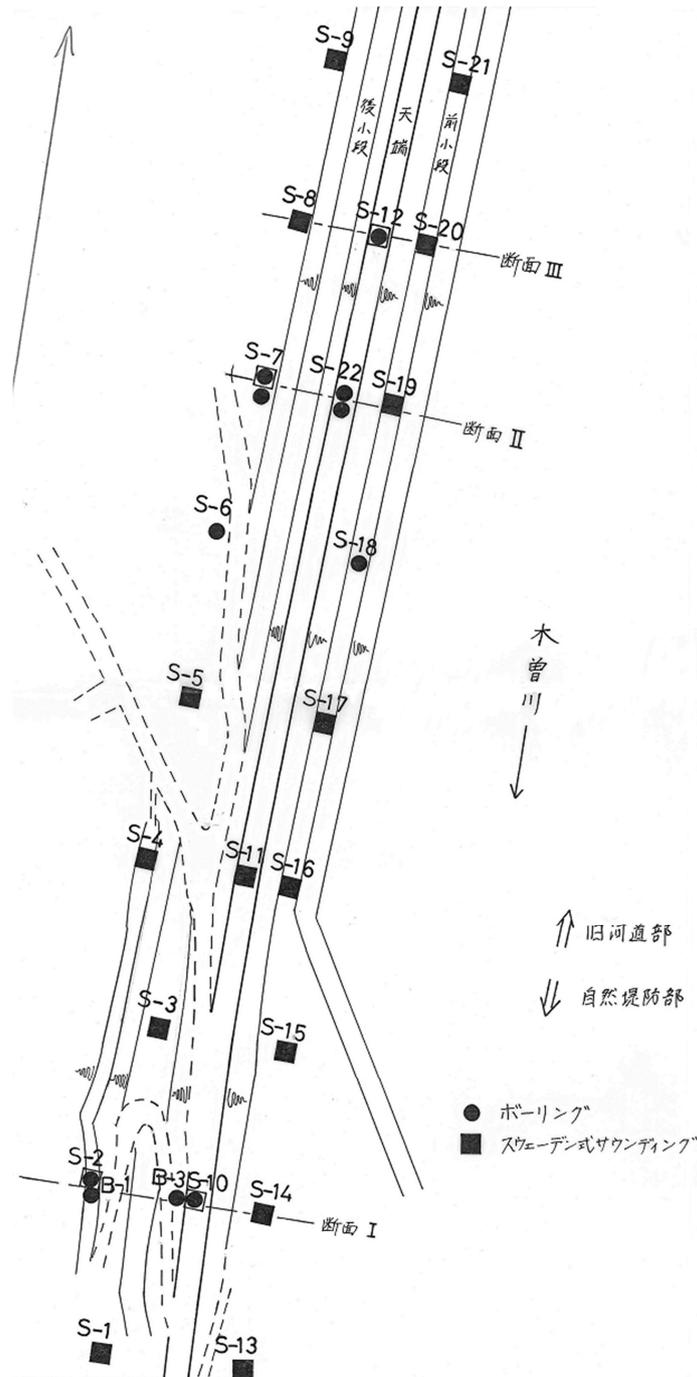


図-8 原位置調査位置図

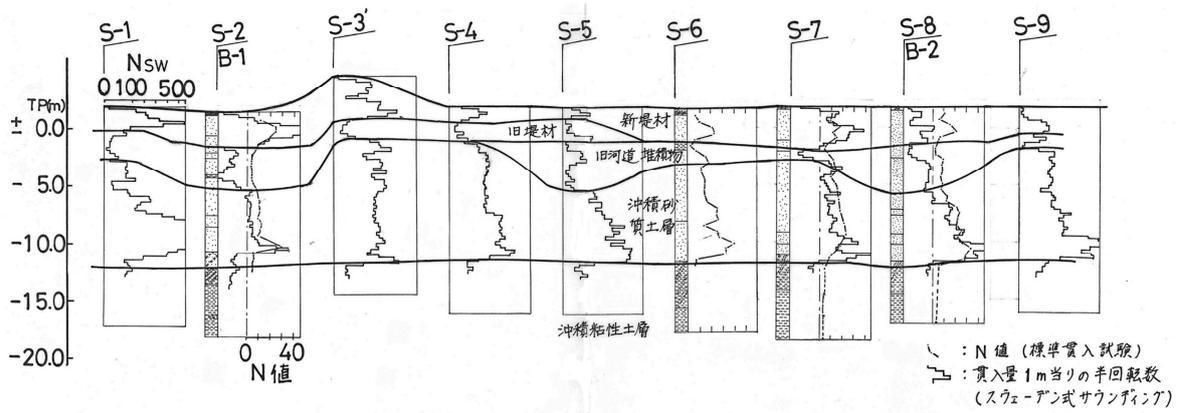


図-9 縦断面図

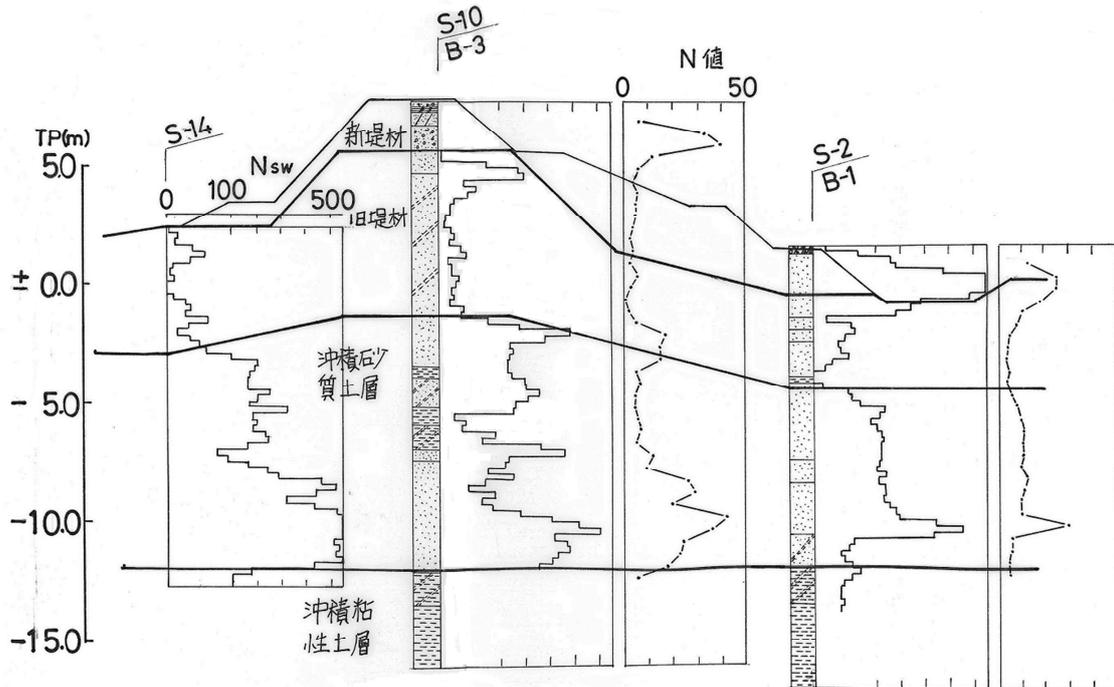


図-10(a) 横断面図 (旧河道部)

げ、詳細な調査を行った。原位置調査としては図-8に示した位置でボーリングおよび標準貫入試験を行い、また50m間隔でスウェーデン式サウンディングを行い、土層構成の連続的な把握に役立たせた。なお、この箇所では東南海地震時に旧河道部で30~50cmの沈下と堤内地のり尻ではらみ出しが生じ、自然堤防部では被害がなかったことが、聞き込みにより明らかとなっている。

調査の結果判明した縦断面図(堤内地のり尻沿い)および横断面図(旧河道部および自然堤防部の代表的な断面各1箇所)を示すと、図-9、10となる。これらの図からわかるように、旧河道部では堤体の下

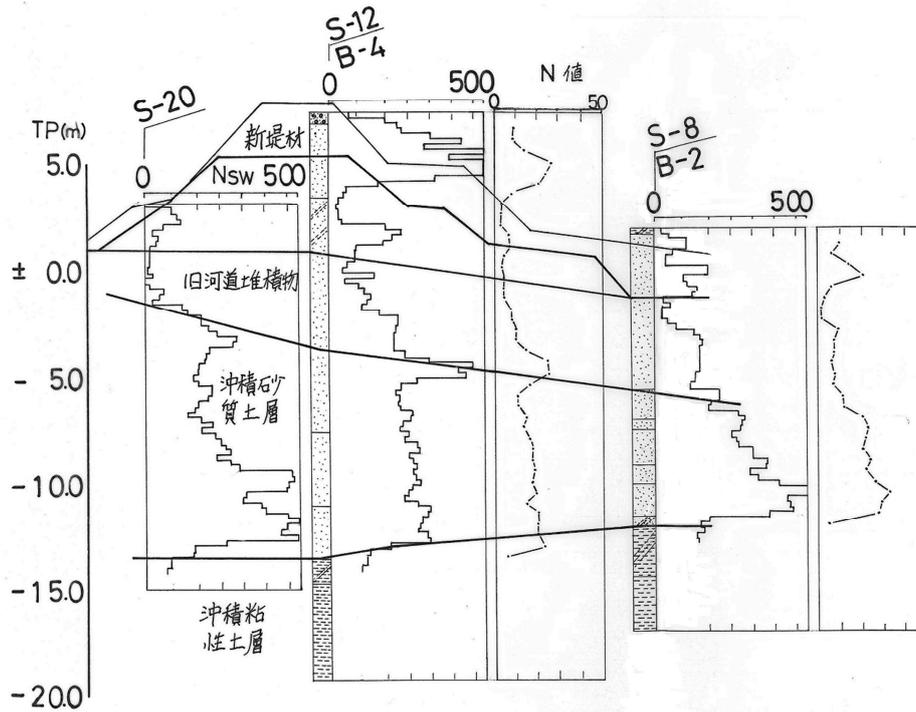


図-10(b) 横断面図 (自然堤防部)

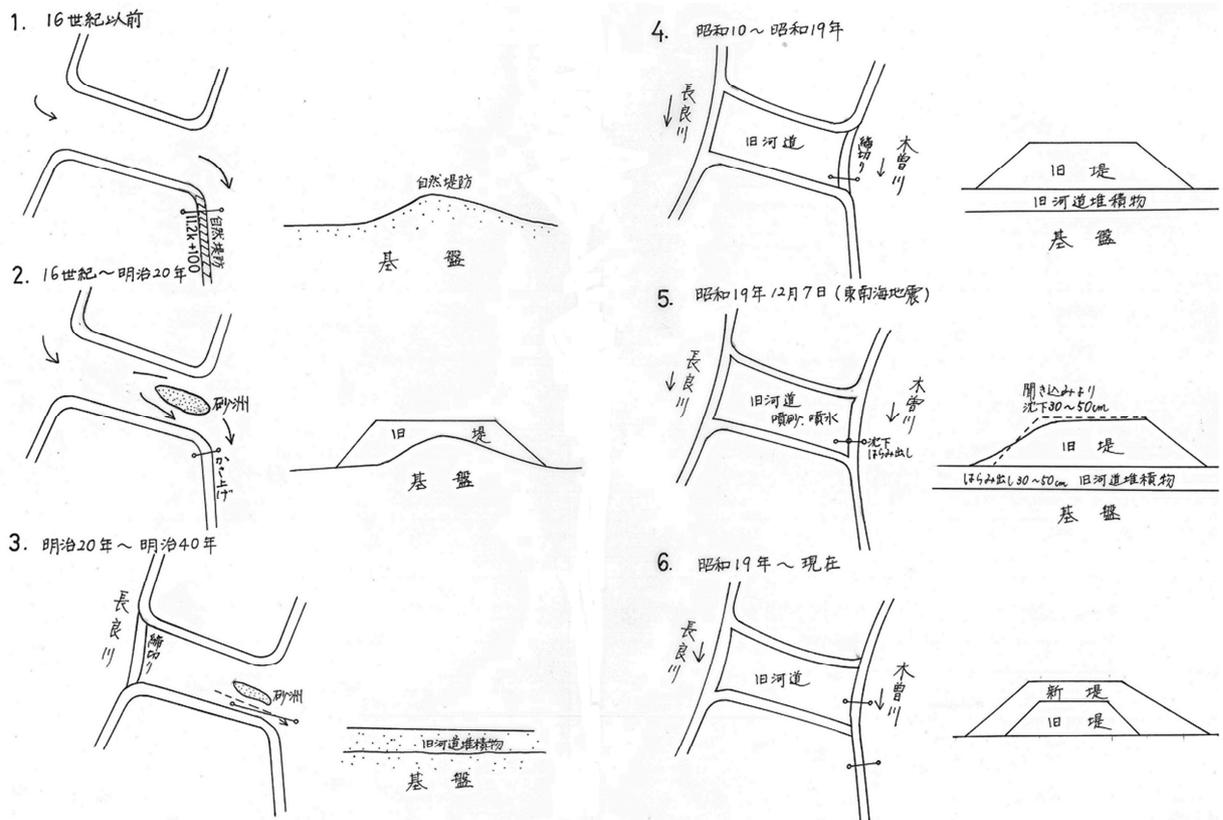


図-11 旧河道生成過程説明図

に旧河道堆積物が堆積している。この層はN値が2~10の極めて緩い細砂であり、厚いところでは4m程の厚さとなっている。自然堤防部にはこの層は見られない。その下に堆積している沖積砂層は細砂~中砂

からなり、上部でN値は10～15であるが、下部になるにつれて20～30回に増加している。従ってこの旧河道堆積物が地震時に液状化し、被害を起こす原因になったのではないかとまず推察された。なお、堤防築堤過程に関する資料を基に、この旧河道堆積物が形成された過程を推定してみると、図-11のようになる。

表-2 すべりに対する安全率

計算条件		過剰間隙水圧なし	過剰間隙水圧なし	過剰間隙水圧考慮
計算断面		$k_H=0$	$k_H=0.12$	$k_H=0.12$
断面Ⅰ	最小安全率	2.110	1.744	1.108
断面Ⅱ	最小安全率	2.323	1.536	1.072
断面Ⅲ	最小安全率	2.080	1.391	0.862

次に、旧河道部および自然堤防部での地震時被害を定量的に調べてみるために、不攪乱試料を採取し、前節と同様の三軸圧縮試験および振動三軸試験を多く行って必要な土質特性を求めた。これらの値をもとに円弧すべり面法による安定解析を行った結果が表-2である。解析は①常時安定解析、②水平震度を考慮した地震時安定解析、③水平震度および過剰間隙水圧を考慮した地震時安定解析の3種類を行った。表からわかるように、③の解析方法によると旧河道部と自然堤防部の被害の差が安全率に反映されていることがわかる。このことから被害の原因が旧河道堆積物の液状化にあることがわかる。なお、過剰間隙水圧を求めるにあたっては、振動三軸試験から求めた液状化応力比  $R$  を、地震応答解析から求めた地震時作用応力比  $L$  で除して、液状化抵抗係数  $F_L$  を地盤内各点について求め、さらに図-7と同じ関係図を作成しておいて各点の過剰間隙水圧を求めた。

## 6. 地震時危険箇所の描出

### 6.1 地震力の想定

さて今後の地震に対する危険箇所の予測や対策工の検討を行うにあたっては、まず想定しておくべき地震動を決定しておかなければならない。このために、調査地点で過去の地震時に生じた地震動を推測し、その他の情報も加味して、将来想定しておくべき地震動を決定した。

まず、調査地付近で過去に生じた地震記録を集め、この地震のマグニチュードと調査地までの震央距離をもとに、その当時調査地で生じたであろう地表最大加速度および基盤最大加速度を試算した。この式には新耐震の式<sup>5)</sup>および金井の式<sup>6)</sup>を用いた。そして試算結果を統計処理したところ、100年または200年に一度生じている最大加速度は、地表で120、190gal程度、基板で80、100gal程度であるとの結果を得た。

この他に、関係他機関で設定されている地震力を調べたところ、名古屋港西大橋の地震応答解析の際に基板で150、200galの入力が設定された<sup>7)</sup>こと、近々襲来が予想されている東海地震に対して、三重県では応急暫定対策で海岸部で震度6、内陸部で震度5の地震を想定していること、名古屋市では震度6の地震を想定していることがわかった。そこで、これらをもとに、基板最大加速度を150galと設定し、図-6に示した箇所について地震応答解析を行った。解析は一次元重複反射法に加えて、二次元有限要素法で行った。後者(プログラム名" LUSH"<sup>8)</sup>)による計算結果のうち、加

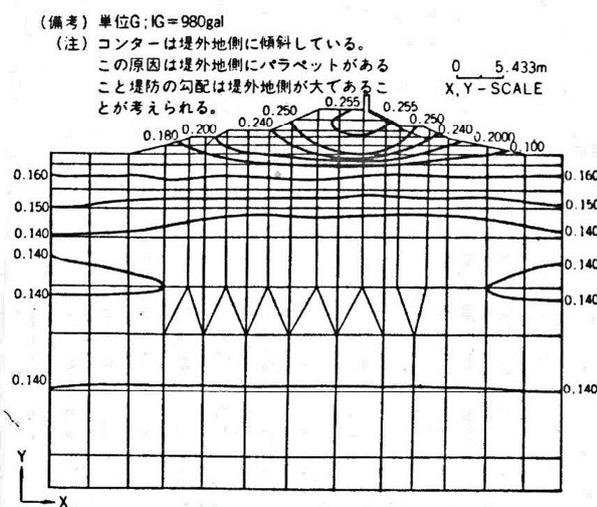


図-12 最大加速度分布、有限要素法による応答解析結果(板島橋波形  $A_{B,max}=150gal$ )

速度分布を示すと、図-12となる。図からわかるように、のり尻付近で180~200gal、天端で250gal程度の計算結果が得られた。

以上の結果を総合して、のり尻付近の地表で想定しておくべき最大加速度を200gal程度と決定した。

## 6.2 危険箇所の検討

東南海地震時の被災状況は4. で前述したとおりである。ところでこの東南海地震の際、調査地点でどれくらい地表最大加速度が生じたかを、前節と同様に新耐震の式、金井の式で試算してみると100~110gal程度となる。ところが図-1に示したように、調査地付近の深度はVでしかも一般的な被災状況から考えても、かなり大きな地表最大加速度が発生したと推測される。この相違の原因として考えられるのは震央の位置の問題である。震央は図-1に示した位置とされているが、実際にエネルギーが放出された位置は、もっと伊勢湾に近いところであるとの説も出されている。例えば、図に示した波源域の端からの距離が震央距離だと仮定して、地表最大加速度を試算し直してみると、174~207galとなる。そこで、大まかに言って200gal程度の地表最大加速度が調査地付近に生じたものと判断された。

この200gal程度の地表最大加速度は、前節で述べた将来の地震動として想定している値と、丁度一致する。そこで、東南海地震時の被災状況が、将来の地震に対する危険箇所の検討に役立つと考えられた。ところで、収集した資料を調べてみると、東南海地震で被害を受けた箇所には濃尾地震で被害を受けた箇所も多かった。また、宮城県沖地震についてみてみると、その4ヶ月前の地震や、16年前の宮城県北地震で被災した箇所再度被災した箇所がいくつかあった。これらのことにより、被災後に何らかの対策工を施していない限り、次の地震でまた同形式の被害を受けると見なしておいた方が安全であると考えられた。そこで、危険箇所を描出するにあたって、東南海地震で被災した箇所は同程度の被災を生じる可能性がある、とまず見做すことにした。そしてさらに4. で前述した被災要因の検討結果をもとに、地形区分上旧河道や埋立地に相当する箇所、東南海地震で液状化した箇所、PLの計算結果が大きかった箇所、東南海地震後に起きた伊勢湾台風で破堤した箇所等は、被災を受け易いと判断し、危険箇所をランク分けする際に考慮した。このようにして、表-3に示した5段階の表示方式による危険箇所図を全域にわたって作成した。

## 6.3 耐震機能を持たせるべき優先度の決定

河川堤防は一般の構造物と多少異なり、堤防の被害そのものに加えて、地震時及び地震後に沈下した堤防から浸水を生じないかどうかということが重要な問題となる。したがって、そのような浸水の危険性の有無を最大の判断基準として、前節で述べた危険箇所について耐震機能を持たせるべき優先度を選定した。

過去の例を調べてみると、地震被災から応急復旧が完成するまでに数か月、本復旧が完成するまでに1, 2年はかかっている。したがって、地震時だけでなく、この程度の期間における出水に対して、浸水しないことが必要である。この程度の期間に一度位襲ってくる水位は、降雨に対して計

画水位として定められたものと、ほぼ同程度とみなせよう。そこで考慮すべき水位として警戒水位をとり、また高潮区間では、朔望平均満潮位に津波高さ(過去の例より1mを想定)を加えた水位をとることにした。そして、表-3に示した沈下量を堤防高より差し引き、浸水の可能性のある箇所を選定した。そしてこれらの中でも、浸水面積が広いと予想される箇所では、特に耐震機能を持たせる優先度を高くした。また、浸水しないが危険度ランクがAである箇所にも、耐震機能を持たせる箇所とみなした。その他の被災

表-3 危険度のランク分けと各ランクでの予想される被災状況

危険度 ランク	予想される被害の程度
A	地盤の破壊を伴う大規模な堤防被害 (沈下量0.5~2m程度)
B	地盤の破壊を伴う堤防被害 (沈下量0.5~2m程度)
C	地盤の破壊はなく堤防の被害 クラック、スベリ程度
D	地盤の破壊はなく堤体の軽微な被害
E	無被害

予想箇所では、地震後の復旧によって対処出来ると考えられるため、この場合の復旧工法についても検討を行った。

## 7. 対策工の検討

### 7.1 モデル地盤についての対策工効果の検討

前章のようにして選択した、耐震機能をもたせるべき箇所について、適切なる対策工を検討した。これらの箇所は、表-3における危険度ランク A および B の箇所に限られたため、まず、ランク A、B の平均的なモデル地盤を設定し、それらに対するいくつかの対策工の効果を予備的に検討した。そしてその後、おのおのの箇所に対する適切なる対策工を選定し、最後に効果の確認を行った。

5.2 で述べたように、調査地全域にわたって表層の 10~15m には、埋立ておよび沖積砂層が堆積している。ランク A、B の地点における N 値を整理してみると、平均的に図-13 に示した深度分布をしていることがわかった。そこで、土質試験も整理し図-13 に示したモデル地盤を設定した。

ところで、対策工の効果を評価するためには、対策工を施した場合の堤防の沈下量を予測する必要がある。ところが沈下量を詳細に予測する方法は現在確立されていないので、次のように斜面安定解析結果から予測する方法を考案した。図-14 は土質調査の行われている 16 箇所について、東南海地震当時の断面形状で、次の 3 通りの方法でフェレニウス法による斜面安定解析を行ない、東南海地震時の沈下量と比べてみたものである。

- (1) 水平震度も過剰間隙水圧も考慮しない。
- (2) 水平震度を  $k_H=0.12$  ほど考慮（この値は新耐震設計法（案）<sup>5)</sup> に従って決定した）するが、過剰間隙水圧は考慮しない。
- (3) 水平震度も過剰間隙水圧（求め方は後述する）も考慮する。

表-4 検討した対策工とその期待した効果

工法	期待される対策工効果	解析への対策効果の考慮方法
サンドコンパクション	締固めによる、過剰間隙水圧発生軽減ならびにせん断強度の増加	N 値の増加 → R の増加 → 過剰間隙水圧の軽減
パイロロット	〃	〃
部分除去置換 (碎石による置換)	置換部の液状化防止及び周辺地盤からの過剰間隙水圧の消散助長	置換部が液状化しないと仮定し、さらにせん断強度を増加
深層混合処理 (セメント混合)	処理部の液状化防止、およびせん断強度の大幅な増大	処理部が液状化しないと仮定し、さらにせん断強度を大幅に増加
押え盛土	拘束圧の増加による、過剰間隙水圧の軽減、およびすべりに対する抵抗増加	拘束圧の増加 → R の増加 → 過剰間隙水圧の軽減
矢板、鋼管パイルの打設	すべりに対する抵抗力の増加	矢板、鋼管に加わる主働、受働土圧の増減。過剰間隙水圧が発生すると、1 に近づくように前者は増加、後者は減少

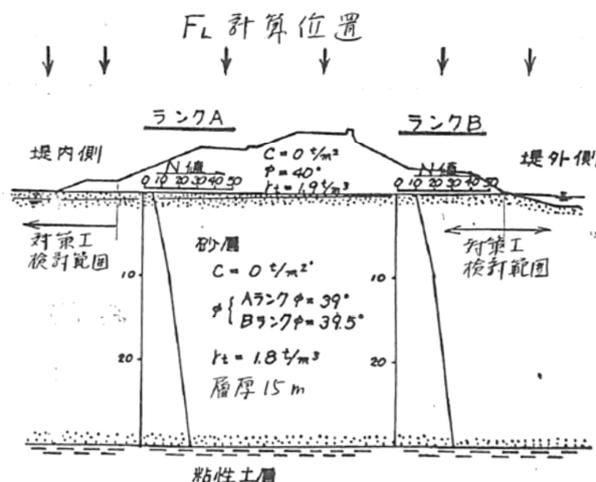


図-13 対策工の予備検討のために設定したモデル地盤

図からわかるように、(1)、(2)の方法だと、沈下量大きい被災箇所でも安全率  $F_s$  が1よりはるかに大きくなってしまった。そこで(3)だけを、宮城県沖地震の際に河川堤防で同様に計算された例<sup>9)</sup>も含めて、プロットし直すと、図-15 となった。この方法だと、沈下量が大きかった箇所は  $F_s$  が小さくなり、しか

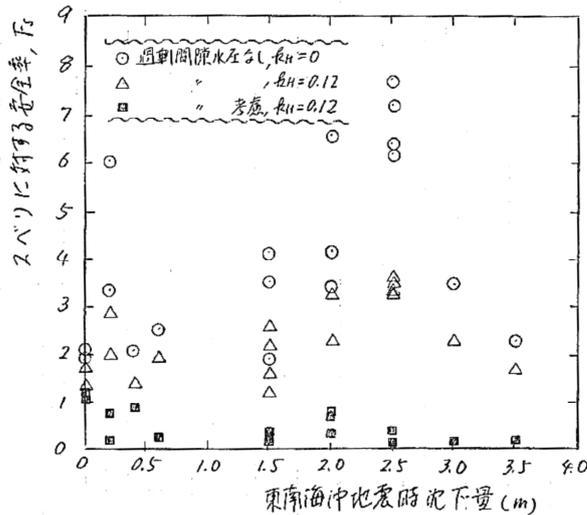


図-14 沈下量と安全率の関係

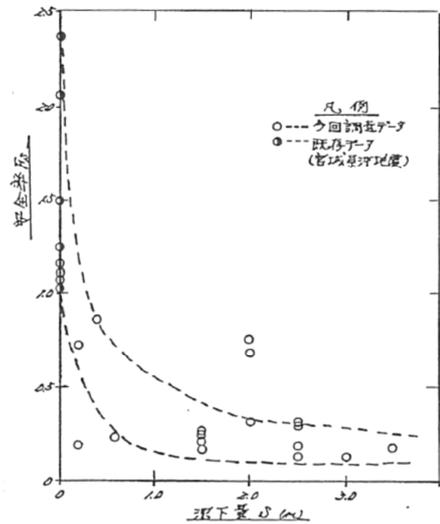


図-15 水平震度および過剰間隙水圧を考慮した場合の安全率と沈下量の関係

も、沈下が生じる限界の  $F_s$  は1.1程度であったということがわかる。そこで、対策工の効果の検討には(3)による安定解析方法を用い、対策工施工後は、沈下を生じさせないようにするためには、 $F_s$  が1.1を必要な安全率と取ればよいと判断された。

過剰間隙水圧の求め方は、一次元での検討結果から二次元での分布を推定する方法をとった。このために、モデル地盤については、まず図-13の上部に示した位置で液状化抵抗係数  $F_L$  (=地震荷重  $L$ /液状化応力比  $R$ ) を深度方向に計算した。ただし、 $L$  は岩崎、龍岡らの簡易式<sup>2)</sup>で求め、 $R$  は5.3で前述したように本調査地で得られた式を用いた。さらに、計算された  $F_L$  から、図-7を用いて過剰間隙水圧の深度分

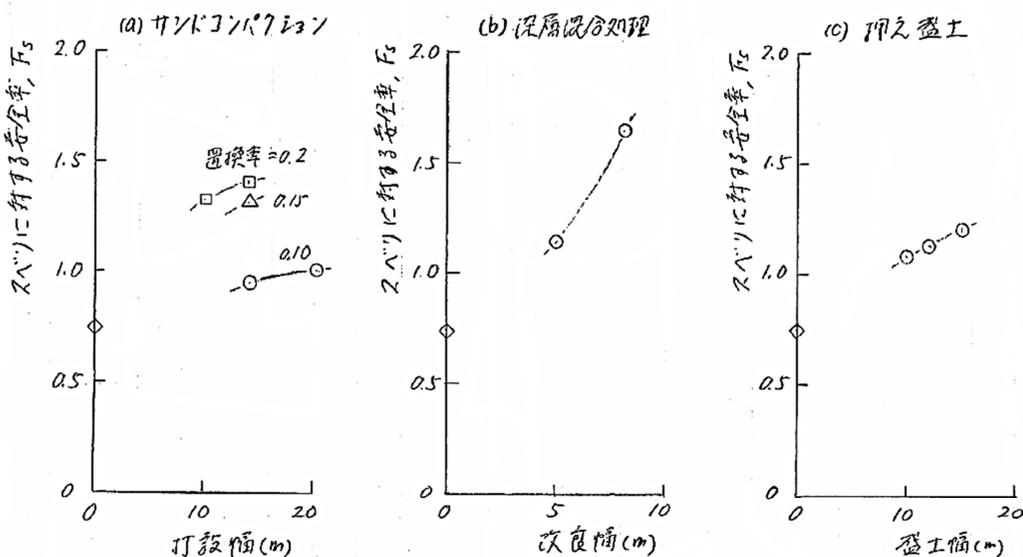


図-16 対策工と安全率の関係例 (危険度ランク A、堤内地側)

布を求め、に平面的に比べて、過剰間隙水圧の等圧線を描いた。

さて、今回の対策工のポイントは、いかに砂層の液状化を防ぐかにあるため、これを考慮して、表-4に示した対策工を取りあげた。ただし、既設の堤防に対する対策工の検討であるため、図-13の上部に示したように、これらの対策工の施工範囲はのり尻付近を想定した。計算結果のうち、ランクAの地盤モデルの堤内地側で計算した例を示すと、図-16となる。図に示したように、一般に、サンドコンパクションパイル工法、深層混合処理工法だと対策効果が顕著に表れたが、押え盛土、部分置換、バイプロット、矢板、鋼管パイルの打設工法では、対策効果があまり顕著でなかった。

## 7.2 各箇所についての適切なる対策工の選定および効果の確認

次に、耐震機能を持たせることが望まれる箇所について、ここに適切なる対策工の選定を行った。この場合、前節で検討した対策工の効果をもとにし、それにさらに次の項目も考慮した。

- (1) 工費
- (2) 対策工のために必要な用地幅
- (3) 施工中の付近への影響
- (4) 施工実績
- (5) 付加機能（例えば漏水も防げるとか）

そして選定した対策工およびその施工範囲に対して、最終的に前節で述べた方法で効果の確認を行った。

## 8. あとがき

木曾三川下流部の河川堤防について、地震対策の検討を行った結果について報告した。この検討の内容は多岐にわたるため、本報告では検討過程および結果について概略の説明しか行えなく、読みづらい点があったことをお詫びする次第である。また、ここに述べた以外にも、避難地帯の地域防災体制と河川堤防のあり方、地震により被災した場合の復旧工法、地震時堤防沈下量の詳細な予測方法、河川構造物についての耐震性等の検討を行っているが、これも省略させていただいた。このように、完備した報告とは言い難いが、本文を土構造物の耐震性検討の際に、多少でも役立たせていただければ幸いである。

## 参考文献

- 1) 宇佐美龍夫：日本被害地震総覧，pp.223-225，東大出版会，1975.
- 2) 岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田進：砂質地盤の地震時流動化の簡易判定法と適用例，第5回日本地震工学シンポジウム講演集，pp.641-648，1978.
- 3) Tatsuoka, F., Iwasaki, T., Tokida, K., Yasuda, S., Hirose, M., Imai, T. and Kon-no, M.: A method for Estimating Undrained Cyclic Strength of Sandy Soils using Standard Penetration Resistances, Soils and Foundations, Vol. 18, No.3, pp.43-58, 1978.
- 4) 安田進・山口勇・田中猛：液状化と沈下量、過剰間隙水圧，土木学会第36回年次学術講演会講演集，第III部門，pp.94-95，1981.
- 5) 建設省：新耐震設計法（案），土木研究所資料，第1187号，pp.147-159，1977.
- 6) 金井清：地震工学，pp.96-98，1969.
- 7) 栗林栄一・川島一彦・宮田忠明：名古屋港西大橋（斜張橋案）の地震応答解析による耐震性に関する調査報告書，土木研究所資料，第1265号，1977.
- 8) Lysmer, T., Udaka, T., Seed, H. B. and Hwang, R.: LUSH, A Computer program for Complex Response Analysis of Soil-Structure Systems, EERC, 74-4, 1974.
- 9) 岩崎敏男，常田賢一，安田進：1978年宮城県沖地震における地盤の耐震性に関する調査，第14回土質工学研究発表会講演集，pp.1285-1288，1979.